

Theorie des Trafsirens

von

Wilhelm Launhardt,

Geheimer Regierungsrath,
Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover.

Heft II.

Die technische Trafsirung der Eisenbahnen.

Mit 23 Holzsehnitten.

Hannover.

Schmorl & von Seefeld.

1888.

Theorie des Traktats

Wilhelm Lachmann

Lehrer an der Universität zu Köln

Heft 12

Die technische Entwicklung der Eisenbahn

Verlag von Carl Küster

Druck von Carl Küster, Hannover.

Vorwort.

Während in dem ersten Hefte der Theorie des Trassirens die Aufgabe lediglich vom volkswirtschaftlichen Standpunkte als „kommerzielle Trassirung“ aufgefaßt wurde, sollen nun die technischen, von der Gestaltung und Beschaffenheit des Bodens sowie von der Bauart und Betriebsweise abhängigen Verhältnisse in volle Berücksichtigung gezogen werden. Die Behandlung ist für Eisenbahnen und Straßen getrennt und zwar in diesem zweiten Hefte für die Eisenbahnen durchzuführen.

Die bauliche Anordnung des Gleises, des Bahnkörpers und aller Bauwerke wird dabei als feststehend angenommen, wie auch die geodätische Aufnahme und Darstellung des Geländes und der Bodengestaltung nebst den Untersuchungen über die Bodenbeschaffenheit als gegeben betrachtet werden.

Die technische Trassirung der Eisenbahnen soll alle Erwägungen, rechnerischen Untersuchungen und aus Erfahrungen abgeleiteten Regeln und Vorschriften umfassen, welche bei Beurtheilung und bei Entscheidung über die Wahl des Linienzuges einer Eisenbahn in Betracht kommen. Alle technischen Verhältnisse sind hierbei stets von dem weiteren wirtschaftlichen Standpunkte aufzufassen und zu beurtheilen.

Die Feststellung des gesammten Linienzuges und aller Einzelheiten der Gestaltung der Trasse in Grundriß- und Höhenlage soll durch die Theorie des Trassirens der Schätzung nach praktischem Ermessen und Dafürhalten entzogen und, so weit durchführbar, auf eine Begründung durch mathe-

matische Rechnung zurückgeführt werden. Die Aufgaben des Trafsirens werden dadurch keineswegs zu bloßen Rechenaufgaben, sondern erfordern in einem Grade wie kaum eine andere technische Aufgabe eine umfassende Ueberlegung und klar abwägende Beurtheilung der vielseitigsten wirthschaftlichen und technischen Rücksichten, wobei die Rechnung nur als Werkzeug dient.

Besondere Umsicht erfordert die Feststellung mancher, den Rechnungen zu Grunde zu legenden Zahlenwerthe, da einige derselben in Preisen bestehen, welche zeitlichen wie örtlichen Schwankungen unterworfen sind, andere sich auf einen zukünftigen Zustand beziehen, welcher nur nach Muthmaßung geschätzt werden kann. Dafs bei der Feststellung einzelner der bestimmenden Gröfsen Unsicherheiten unvermeidlich sind, liegt in der Natur der Aufgabe und kann den Werth der theoretischen Untersuchungen nicht abschwächen, durch welche für die sonst oft nur auf ein verschwommenes Dafürhalten gegründete Beurtheilung eine klare und gesetzmäßige Schlussfolgerichtigkeit gewonnen wird.

Hannover, April 1888.

Wilh. Launhardt.

Druckfehler-Berichtigung.

Gleichung 31 auf Seite 141 muß heißen:

$$s = \frac{z - w}{1 + \sqrt{\frac{z}{w} \cdot \frac{B + m(z - w) \left\{ B_0 + \frac{a}{2} L (w + s_{11}) + \frac{e L}{z} (z - w)^2 \right\}}{B + \frac{1}{n} (A i + U + f b T)}}$$

Inhalts-Verzeichniss.

Abschnitt I.

Die Betriebskosten der Eisenbahnen in Abhängigkeit von der Länge, Krümmung und Neigung der Trafse.

	Seite
§ 1. Einleitung	1
§ 2. Zerlegung der Bau- und Betriebskosten der Eisenbahnen für die Aufgaben des Trafsirens	7
§ 3. Bahnkosten	9
§ 4. Fahrdienstkosten	11
§ 5. Zugkraftskosten	18
§ 6. Stations- und Expeditionskosten	28
§ 7. Zug-Widerstand	30
§ 8. Die Zugkraft der Lokomotiven	37
§ 9. Maßgebende Steigung, schädliche und unschädliche Steigungen	39
§ 10. Die Betriebskosten der Strecke	41
§ 11. Gleichwerthige Steigung	45
§ 12. Bestimmung des Zugkraftskoeffizienten	49
§ 13. Näherungsformeln für die Berechnung der Betriebskosten und Kosten des Zugkilometers	56
§ 14. Berechnung der Betriebskosten für den Fall, daß der Verkehr in beiden Richtungen nicht gleich groß ist	62

Abschnitt II.

Untersuchungen über die zweckmäßigste Anordnung der Einzelheiten der Trafse.

§ 15. Einleitung	70
§ 16. Breite und Breiten-Eintheilung der Bahn	72
§ 17. Eingleisige und zweigleisige Bahn	79
§ 18. Normalspur oder Schmalspur	83
§ 19. Die Krümmungsverhältnisse	94
§ 20. Uebergangskurven	99
§ 21. Wahl der Krümmungshalbmesser	112
§ 22. Die Höhenlage der Trafse	122

	Seite
§ 23. Zweckmäfsigste Gröfse der maßgebenden Steigung	136
§ 24. Zweckmäfsigste Gröfse der maßgebenden Steigung ohne Längen-Entwicklung	150
§ 25. Zweckmäfsigste Gröfse der maßgebenden Steigung bei Vor- spanndienst oder bei Theilung der Züge	153
§ 26. Anlaufsteigung	160
§ 27. Verlorene Steigung	165
§ 28. Die Entfernung der Stationen	170
§ 29. Virtuelle Länge	180
§ 30. Virtuelle Steigung	188

Abschnitt III.

Feststellung der Trafse.

§ 31. Allgemeine und ausführliche Trafsirung	192
§ 32. Trafsirung im Flachlande	200
§ 33. Trafsirung im Hügellande	206
§ 34. Beurtheilung der Bauwürdigkeit zweier zur Wahl stehenden Trafsen im Hügellande	220
§ 35. Trafsirung im Gebirge	223
§ 36. Gebundene und gebrochene Steigung	240
§ 37. Die Längen-Entwicklung der Trafse	248
§ 38. Die Aufsuchung der Trafse im Schichtenplane	254

Verzeichnifs

der Bezeichnung der wichtigsten vorkommenden Gröfsen.

- A* Kilometrische Anlagekosten der Bahn.
- B*₀ Der, von der Zugkraftleistung unabhängige Theil der Kosten eines Lokomotivkilometers.
- B*₁ Kosten eines Lokomotivkilometers bei größter Zugkraftleistung der Lokomotive.
- B* = $\frac{1}{2} (B_0 + B_1)$ mittlere Kosten eines Lokomotivkilometers.
- L* Gewicht der Lokomotive und des Tenders in Tonnen.
- Q* Gewicht des Zuges, ausschließlich der Lokomotive und des Tenders, in Tonnen.
- P* Anzahl der jährlich beförderten Personen.
- T* Anzahl der jährlich beförderten Tonnen Nutzlast.
- U* Kilometrische Kosten der Bahn-Unterhaltung und Bewachung.
- Z* Zugkraft der Lokomotive in Tonnen.
- a* Kostenbetrag für den Lokomotiv-Km, welcher durch die Leistung einer Tonne Zugkraft entsteht,
oder
- a* der von der Geschwindigkeit unabhängige Theil des Widerstandskoeffizienten $w = a + bv^2$.
- b* Der Ladungskoeffizient, das heißt das Verhältniß der Rohlast, ausschließlich der Lokomotive und des Tenders, zur Nutzlast,
oder
- b* die Zahl, mit welcher das Quadrat der Geschwindigkeit multipliziert werden muß, um die Abhängigkeit des Widerstandskoeffizienten $w = a + bv^2$ von der Geschwindigkeit anzugeben.

- c* Der Kurven-Widerstandskoeffizient.
- e* Zahl, mit welcher das stärkste Neigungsverhältniß multipliziert werden muß, um die Bremserkosten für einen Tonnen-Km Rohlast zu erhalten.
- f* Fahrdienstkosten für den Tonnen-Km der Rohlast.
- g* Beschleunigung der Schwerkraft.
- h* Zu ersteigende Höhe in Kilometern.
- i* Zinsfuß.
- l* Länge in Kilometern.
- m* Spurmaß.
- r* Krümmungshalbmesser in Metern,
oder
- r* Verhältniß der Verkehrsmenge der Nebenrichtung zu der in der Hauptrichtung.
- s* Maßgebende Steigung.
- s*₀ Unschädliche Steigung.
- s*₁ Schädliche Steigung.
- s*_{II} Gleichwerthige Steigung.
- v* Geschwindigkeit des Zuges in Metern.
- w* Widerstandskoeffizient des Zuges.
- z* Zugkraftskoeffizient der Lokomotive.
- α* Centriwinkel der Kurven in Graden.
- α*₀ Centriwinkelsumme der Kurven in unschädlichen Steigungen.
- α*₁ Centriwinkelsumme der Kurven in schädlichen Steigungen.

Abschnitt I.

**Die Betriebskosten der Eisenbahnen in
Abhängigkeit von der Länge, Krümmung
und Neigung der Trasse.**

Abchnitt I.

Die Betriebskosten der Eisenbahnen in
Abhängigkeit von der Länge, Richtung
und Natur der Trasse.

§ 1.

Einleitung.

Die auf Grund der Verkehrsverhältnisse unter Voraussetzung einer gleichartigen, horizontalen Bodenbeschaffenheit ermittelte kommerzielle Trafse ist mit Rücksicht auf den Betrieb und unter Berücksichtigung der Bodenbeschaffenheit mehr oder minder erheblichen Veränderungen zu unterziehen, durch welche sie zur technischen Trafse wird.

Von den Betriebsverhältnissen sind außer der Menge und Art der zu befördernden Lasten auch die Bauart der Fuhrwerke sowie die Beschaffenheit und Verwendungsweise der Betriebskräfte auf die Gestaltung der Trafse von entscheidendem Einflusse.

Von den Boden-Verhältnissen kommen in Betracht:

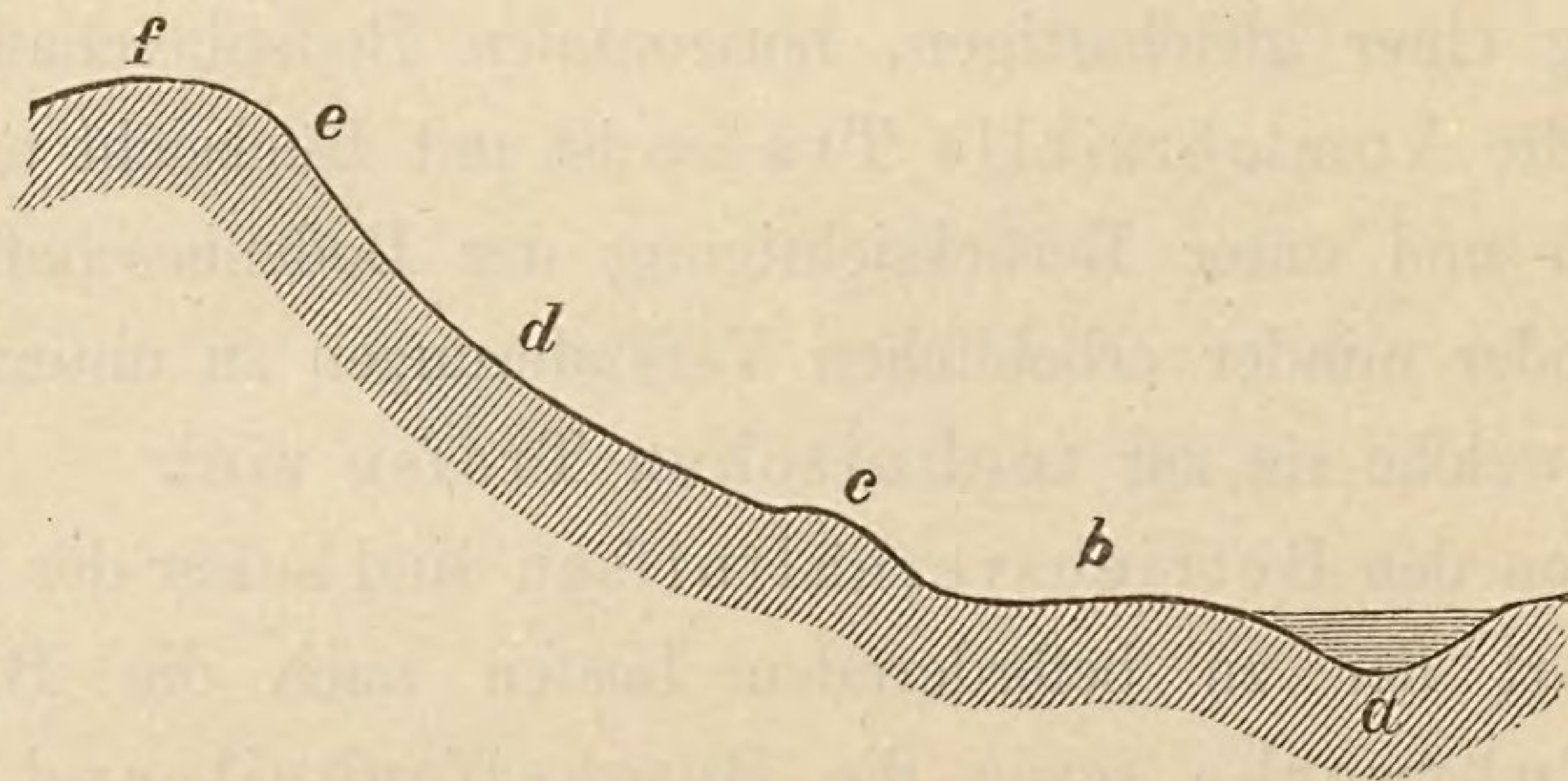
1. Die Gestaltung des Bodens. Diese wird durch einen Schichtenplan dargestellt, auf welchem in bestimmten, gleichen Höhen-Abständen die Punkte gleicher Höhenlage durch zusammenhängende Linienzüge verbunden sind, welche man als Schichtenlinien oder Horizontalkurven bezeichnet.

Zieht man in dem Schichtenplane Linien, welche die Horizontalkurven rechtwinklig kreuzen, so erhält man die Linien des stärksten Gefälles, die in unbegrenzter Fortsetzung einen wechselnd auf- und niedersteigenden Linienzug bilden. Durch Verbindung der oberen Beugungspunkte

der nebeneinander liegenden Linien des stärksten Gefälles, findet man die Linien der Wasserscheiden, und durch Verbindung der unteren Beugungspunkte der Linie des stärksten Gefälles die Thalwege.

Der Längenschnitt einer Linie des stärksten Gefälles zeigt in unmittelbarer Umgebung des Thalweges (Fig 1.) das Flussbett mit seinen Uferlinien, daran anschließend den schwach ansteigenden Thalboden *b*, welcher durch das Hochufer *c* begrenzt wird, von welchem aus der Thalhang *d* in der Regel nach oben hin steiler werdend, ansteigt. Der Thalhang

Fig. 1.



wird oben von einer oft durch Klippen ausgezeichneten Kante begrenzt, welche man Thalsaum *e* nennt und von welcher ab der Bergrücken *f* in der Regel in flacherer Wölbung bis zur Wasserscheide ansteigt. Die hier beschriebene allgemeine Gestaltung tritt freilich nicht immer in allen Einzelheiten in voller Schärfe hervor.

Die Thalwege haben von ihrem oberen Endpunkte ab, wo sie gegen eine Wasserscheide stoßen, bis zu ihrem unteren Ende, wo sie in einen Thalweg größerer Ordnung oder in den Meeresboden ausmünden, im Allgemeinen ein von oben nach unten abnehmendes Gefälle. Innerhalb dieser allgemeinen Gesetzmäßigkeit kommen aber auch flacher geneigte Strecken oder umgekehrt auch steilere Abstürze vor, welche Thalstufen,

Stromschnellen oder Wasserfälle bilden. Zuweilen steigen die Thalwege streckenweise auch in der Richtung des allgemeinen Gefälles, was zur Entstehung von Seen führt.

Auch die Wasserscheiden haben im Allgemeinen ein von oben nach unten abnehmendes Längengefälle, jedoch in weit geringerer Regelmäßigkeit als die Thalwege, indem sie auch vielfach einen auf- und niedersteigenden Linienzug bilden. Die tiefsten Einsenkungen in den Linien der Wasserscheiden werden Pafs, Sattel, Col, Furka, Scheideck u. s. w. genannt, die höchsten Erhebungen derselben, je nach ihrer Form als Kuppe, Krone, Gipfel, Kamm, Egge, Horn, Kegel, Spitze, Nadel, Pic u. s. w. bezeichnet.

Die von Wasserscheiden umgrenzte Grundfläche, welche die Niederschläge einem bestimmten Wasserlaufe zusendet, heisst ein Niederschlagsgebiet; und je nach der Bedeutung des Wasserlaufs Bach-, Fluß- oder Stromgebiet. Das grösste Niederschlagsgebiet in Europa ist das der Wolga, welches bei einer Länge von etwa 3400 Km eine mittlere Breite von 500 Km, also eine Flächengröße von etwa 1 700 000 Quadratkilometer hat.

Die Boden-Erhebungen nennt man nach ihrer Höhe: Höhenzüge (bis 150 Meter Höhe), Hügel (zwischen 150 und 300 Meter Höhe), oder Berge (über 300 Meter) und die Thäler nach der Höhe der eingrenzenden Wasserscheiden: Landthal, Hügellandsthal oder Gebirgsthal oder auch nach ihrer Gestaltung: Schluchten, Risse, Klammen, Klüfte, Mulden, Becken u. s. w.

Unter annähernder Festhaltung der erwähnten Höhen-Abstufungen (unter 150 Meter, zwischen 150 und 300 Meter, über 300 Meter) unterscheidet man: Tiefebene, mittelhohe Ebenen und Hochebenen und ferner Flachländer, Hügellandschaften und Gebirge. Bleibt die Boden-

gestaltung auf große Ausdehnung, etwa über 5000 qkm, innerhalb gleicher Höhenunterschiede, so tritt die Bezeichnung Tafelland ein, wobei man niedrige, mittelhohe und hohe Tafelländer unterscheidet.

2. Die geognostische Beschaffenheit des Bodens. Die geognostischen Untersuchungen sind nicht allein auf die Bestimmung der geologischen Formation, welche Schlüsse auf das Vorkommen brauchbarer Baustoffe liefert, sowie auf die Feststellung der Gesteins- und Bodenarten zu erstrecken, sondern auch auf die Ermittlung der Tragfähigkeit, der Wetterbeständigkeit, der Wasserführung und der Lösbarkeit des Bodens sowie auf das Streichen und Einfallen der Schichten zu richten. Unter dem Streichen versteht man die Richtung der auf der Schichtoberfläche gezogen gedachten Horizontalkurven, unter dem Einfallen die Neigung der auf der Schichtoberfläche gezogen gedachten Linien des stärksten Gefälles gegen die Horizontale.

In Bezug auf die Lösbarkeit unterscheidet man:

a. Lockere oder rollige Bodenarten, welche mit der Schaufel, unter Umständen nach Auflockerung durch die Breithacke gelöst werden können, wie z. B. Sand, Kies, Grand, Gerölle, Lehm, magere Garten- und Ackererde.

b. Milde Bodenarten oder Stichboden, welche mit dem Spaten gelöst und mit diesem in zusammenhängenden Stücken geworfen werden können, wie fette Garten- und Ackererde, fetter Lehm, leichter Thonboden, Klai.

c. Gebräche Bodenarten, welche durch Brechstangen, Spitzhacken oder Keile gelöst werden müssen, wie z. B. Mergel, fester Thon, Trümmergestein, gebundener Kies.

d. Schiessbare Bodenarten, welche durch Sprengmittel gelöst werden müssen, wozu außer dem Felsboden auch dicht und fest gelagerte Bodenarten gehören.

Bei Ermittlung der Tragfähigkeit des Bodens ist besonders zu untersuchen, ob Rutschungen zu befürchten sind. Die Rutschungen können aus zwei verschiedenen Ursachen entstehen, indem entweder der Boden durch Wasseraufnahme seine Standfestigkeit verliert und in dickflüssigen Zustand geräth, oder indem auf der geneigten Oberfläche einer wasserundurchlässigen Schicht, welche durch das abfließende Wasser schlüpfrig wird, die auflagernden Bodenmassen, welche an sich oft große Standfestigkeit haben können, abrutschen.

Endlich ist die Bodenuntersuchung auch auf das für die Trassirung allerdings wohl nur ausnahmsweise in Betracht kommende Vorkommen von Baustoffen, wie Bruchsteine, Mauersand, Bettungskies u. s. w. zu erstrecken.

3. Klima- und Wetterverhältnisse. In der Regel kommt in dieser Beziehung nur in Frage, wie die Trasse gegen die Sonne liegt und ob sie häufigen Seitenwinden oder Schnee-Verwehungen ausgesetzt ist. Im Hochgebirge gewinnen diese Rücksichten wesentliche Bedeutung, indem zu untersuchen ist, welche Erschwerungen und Hindernisse dem Betriebe auf offener Strecke im Winter drohen, an welchen Stellen und in welchem Maße Lawinen vorkommen und ob durch Eiswirkung und Verwitterung Steinstürze zu erwarten sind.

4. Die Wasserverhältnisse. Die Höhe des Grundwassers im höchsten und niedrigsten Stande, das Niedrig-, Mittel- und Hochwasser der Flüsse und Seen und deren höchster schiffbarer Wasserstand, sowie die Hochwassermenge, Hochwasser-Geschwindigkeit und die Ausdehnung des Ueberschwemmungsgebietes sind für die Trassirung von Bedeutung. Im Gebirge verlangen die Wildbäche und deren Schuttkegel oder Murgänge besondere Beachtung.

Die Wassermenge ist von der Gröfse des Niederschlagsgebietes abhängig; sie läfst sich auf den qkm in der Sekunde für das nordwestliche Deutschland beispielsweise etwa wie folgt annehmen:

In der Nähe der Quellen: Hochwasser 0,25 bis 0,35 kbm, Niedrigwasser 0,0025 kbm.

Im Gebirge: Hochwasser 0,20 bis 0,25 kbm. Niedrigwasser 0,002 kbm.

Im Hügellande: Hochwasser 0,16 bis 0,18 kbm. Niedrigwasser 0,002 kbm.

Im Flachlande: Hochwasser 0,10 bis 0,15 kbm. Niedrigwasser 0,0015 kbm.

Die Lage und Beschaffenheit der Wasserläufe wird oft Veranlassung zur Verlegung der Trasse in Grundriß und Höhe, um die günstigsten Stellen und die erforderliche Höhe für die Ueberbrückung zu erhalten, sowie wiederholte Flußübergänge oder die Durchschneidung des Ueberschwemmungsgebietes zu vermeiden.

5. Die wirthschaftliche Benutzung der Bodenfläche. Die Umgehung werthvoller, besonders mit Gebäuden besetzter Grundstücke, der Kirchen und Friedhöfe oder die Vermeidung der Durchschneidung von Grundstücken kann zur Verlegung der Trasse Veranlassung werden. Außerdem ist das Erforderniß der Anlage von Schutzstreifen in Haide- und Forstgrund festzustellen, wenngleich daraus wohl kaum ein Grund zur Aenderung der Trasse entstehen kann.

6. Die Wege-Verhältnisse. Für die zu kreuzenden Wege muß die Gröfse des Verkehrs und die nach den vorhandenen Steigungsverhältnissen derselben beförderten Nutzladung in beiden Richtungen festgestellt werden, um danach die Frage entscheiden zu können, ob die Kreuzung in Schienenhöhe zulässig oder durch Unter- und Ueberführung zu be-

wirken ist, welche Neigungen den Wegen sowie Rampen zu geben sind. Die vorhandenen Wege werden oft zu Höhenänderungen und zu Verschiebungen der Trasse führen, auch für die Lage der Bahnhöfe bestimmend werden. Außerdem ist die Nothwendigkeit der Anlage von Parallelwegen zu prüfen.

§ 2.

Zerlegung der Bau- und Betriebskosten der Eisenbahnen für die Aufgaben des Trassirens.

Zur Beurtheilung des Einflusses, welchen die Betriebsmittel und die erwähnten Bodenverhältnisse auf die Lage der Trasse äußern, muß festgestellt werden, in welcher Weise die Gesamtkosten des Verkehrs von der Länge sowie von den Neigungs- und Krümmungsverhältnissen der Trasse abhängig sind. In den amtlichen Zusammenstellungen der Betriebskosten der Eisenbahnen werden die Ausgaben bekanntlich in drei Gruppen getheilt, in die Kosten der allgemeinen Verwaltung, der Bahn-Verwaltung und der Transport-Verwaltung. Diese Gruppierung der Betriebskosten kann für die Aufgaben des Trassirens nicht ohne Weiteres benutzt werden; man braucht vielmehr eine Zerlegung in die folgenden fünf Gruppen, von welchen für das Trassiren nur die drei letzteren in Betracht kommen.

1. Allgemeine Kosten, welche unabhängig von der Gröfse des Verkehrs und von der Länge und Gestaltung der Trasse sind.

2. Bahnhofskosten, welche alle Ausgaben für Aufnahme und Abgabe des Verkehrs umfassen, also mit der Gröfse des Verkehrs zunehmen, aber unabhängig von der Beschaffenheit der Trasse sind.

3. Bahnkosten, welche die Zinsen des Anlagekapitals der Bahn, mit Ausschuß der Bahnhöfe und aller außer-

gewöhnlichen Bauwerke, und die gewöhnliche Unterhaltung und Ueberwachung der Bahnstrecke umfassen. Es sind hier nur diejenigen Kosten zu berücksichtigen, welche als in gleichem Verhältnisse mit der Länge der Bahn wachsend anzunehmen sind. Zunächst sind also die Kosten für grössere Brücken und Wege-Uebergänge, welche aufzuwenden sind, wie man auch die Trasse führen mag, sowie die Befestigungsanlagen und derartige aussergewöhnliche von der Länge und Lage der Trasse oder von der Grösse des Verkehrs ganz unabhängige Kosten auszuscheiden. Ferner ist die vom Verkehr abhängige Abnutzung der Schienen hier ausser Betracht zu lassen.

4. Fahrdienstkosten oder Fuhrwerkskosten. Diese Kosten sind gesondert für den Güter- und Personen-Verkehr, also für den Tonnen-Kilometer und den Personen-Kilometer zu ermitteln; sie sind unabhängig von den Neigungs- und Krümmungs-Verhältnissen, wachsen aber in gleichem Verhältnisse mit der Länge der Bahn und der Grösse des Verkehrs.

5. Zugkraftskosten, welche von der Grösse des Verkehrs, von der Länge, den Neigungs- und Krümmungsverhältnissen der Bahn abhängig sind. Diese Kosten sind für den Lokomotiv-Kilometer zu ermitteln, wobei auch die Schienen-Abnutzung mit in Rechnung zu stellen ist.

Die Summe der letzten drei Ausgabegruppen giebt die Kosten des Streckendienstes oder die Selbstkosten des Betriebes, welche für die Trassirung in Betracht kommen, indem sie von Aenderungen der Länge oder der Neigungs- und Krümmungsverhältnisse der Trasse beeinflusst werden. Ausgeschlossen sind also die Kosten der allgemeinen Verwaltung, die Kosten der grössern Brücken, Wege-Uebergänge, Tunnels, Befestigungswerke u. s. w., welche erforderlich werden, wie auch die

Trafse geführt werden mag, die Kosten der Bahnhöfe, der Be- und Entladung der Wagen, des Zugordnungsdienstes, der Fahrkarten-, Gepäck- und Güter-Verwaltung, endlich auch die Kosten des Aufenthalts der Züge an den Bahnhöfen und des Ingangbringens der Züge.

§ 3.

Bahnkosten.

Die Bahnkosten der Strecke, also mit Ausschluss der Bahnhöfe und aller größeren Bauwerke, umfassen den Grunderwerb, den Erdbau mit Durchläßen, kleineren Brücken, Wege-Uebergängen und Stützmauern, den Oberbau, die Einfriedigungen, die Telegraphenleitungen, die Streckensignale und die Wärterbuden. Diese Kosten werden in jeden besonderem Falle unschwer durch einen Kosten-Voranschlag zu ermitteln sein. Für das preussische Staatsbahnnetz des Jahres 1874 haben sie durchschnittlich für den Km 134 000 Mark betragen. Aus den amtlichen Zusammenstellungen der Betriebsergebnisse, der preussischen Staatsbahnen, welche jetzt erscheinen, ist nur die, auf den Km durchschnittlich entfallende Summe der Anlagekosten zu ersehen, welche nach dem „Bericht über die Ergebnisse des Betriebes der für Rechnung des preussischen Staates verwalteten Eisenbahnen im Betriebsjahre 1885—86“ 277 752 Mark betragen hat. Nach Abzug der Kosten der Bahnhöfe und der außergewöhnlichen Anlagen sowie der Anschaffungskosten der Betriebsmittel bleiben schätzungsweise für den Km der Bahnstrecke 140 000 Mark, deren Verzinsung bei Anrechnung von 4 Prozent jährlich 5600 Mark erfordert.

Die Kosten für Bahn-Unterhaltung und Bewachung für den Km der freien Strecke, einschliesslich der durchgehen-

den Gleise der Bahnhöfe, lassen sich aus den, durch die Statistik mitgetheilten Kosten der Bahnverwaltung ebenfalls nur schätzungsweise absondern.

Man kann annehmen, daß von den gesammten persönlichen Ausgaben der Bahnverwaltung, ferner von den Kosten für Büreaubedürfnisse, Heizung, Erleuchtung u. s. w., für Ersatzleistungen, erhebliche Aufwendungen in Folge von Naturereignissen, endlich für Telegraphen und Signalvorrichtungen nebst Zubehör, welche im Ganzen auf 30 442 200 Mark sich beliefen, 75 Prozent, also 22 831 650 Mark, auf die freie Strecke zu rechnen sind.

Von den Kosten für erhebliche Ergänzungen, Erweiterungen und Verbesserungen ist etwa die Hälfte, also $\frac{1}{2} \cdot 4\,365\,723 = 2\,182\,861$ Mark für die freie Strecke in Ansatz zu bringen.

Die Kosten für die Schienen-Erneuerung, welche bei Bestimmung der Zugkraftskosten in Rechnung gestellt werden sollen, bleiben hier ausser Betracht.

Für Erneuerung der Schwellen wurden 13 447 813 Mark ausgegeben, während die Gesamtlänge der Gleise auf freier Bahn und der durchgehenden Bahnhofsgleise zu der Länge der Nebengleise etwa wie 3 : 1 sich verhielt. Rechnet man, daß auf die Unterhaltung der Schwellen in den Nebengleisen nur halb so viel wie in den Hauptgleisen verwendet wurde, so kommen von der ganzen Ausgabe für Schwellen auf die freie Strecke $\frac{6}{7} \cdot 13\,447\,813 = 11\,526\,697$ Mark.

Zu den in solcher Weise festgestellten Posten von $22\,831\,650 + 2\,182\,861 + 1\,152\,697 = 36\,541\,208$ Mark sind die für Unterhaltung der freien Strecke unter Tit. 13 a des erwähnten statistischen Berichtes aufgeführten Ausgaben mit 23 548 424 Mark zu fügen, wodurch die Summe von 60 089 632 Mark erhalten wird.

Da im Rechnungsjahre 1885—86 im Mittel 21089 Km Eisenbahnen im Betrieb waren, so haben die Kosten für Bahn-Unterhaltung und Aufsicht für den Km durchschnittlich 2850 Mark betragen.

Die Kosten der allgemeinen Verwaltung betrugen 11,6 Prozent der übrigen Betriebsausgaben, so daß unter Hinzurechnung dieses Prozentsatzes die Kosten der Bahn-Unterhaltung und Aufsicht sich auf 3180 Mark für den Km erhöhen. *)

In den späteren Rechnungen sollen diese Kosten mit U bezeichnet werden, die kilometrischen Anlagekosten der Strecke mit A und der Zinsfuss mit i , so dass die kilometrischen Bahnkosten $= Ai + U$ sind.

§ 4.

Fahrdienstkosten.

In dem Berichte über die Betriebsergebnisse der preussischen Staatsbahn sind die Ausgaben für Aufnahme und Abgabe des Verkehrs (Stations- und Expeditionskosten), die Fahrdienstkosten und die Zugkraftskosten nicht getrennt aufgeführt, sondern unter den Kosten der Transportverwaltung zusammengefaßt. In den Zusammenstellungen der einzelnen Direktionsbezirke sind aber diese Transportkosten in vier Gruppen zerlegt, und zwar in: a. Aeufserer Bahnhofsdienst. b. Expeditionsdienst. c. Zugbegleitungsdienst. d. Zugförderungsdienst.

Die Kosten der Transportverwaltung des preussischen Staatsbahnnetzes vom Jahre 1885—86 sind in Tabelle I. auf die drei Gruppen: Stations- und Expeditionsdienst, Fahrdienst und Zugförderungsdienst nach einem Verhältniß vertheilt, wie solches in dem gleichen Zeitraume für den Eisenbahndirektions-

*) Baumeister (Organ f. d. Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1880) „Summarische Veranschlagung der Betriebskosten von Adhäsionseisenbahnen“ ermittelte diese Kosten für das preussische Staatsbahnnetz des Jahres 1874 auf 3016 Mark.

Tabelle I.
Zerlegung der Kosten der Transportverwaltung.

Tit.	Kap.	Nach dem Berichte über die Ergebnisse des Betriebes der Preussischen Staatseisenbahnen haben die Aus- gaben der Transportverwaltung im Betriebsjahre 1885/86 betragen:	Davon bleiben hier unberück- sichtigt Mk.	Die übrigen Ausgaben vertheilen sich auf die Spalten A, B und C nach einem Verhältniss von	A. Expedi- tions- und Stations- dienst Mk.	B. Fahr- dienst Mk.	C. Zug- förde- rungs- dienst Mk.
1 u. 2	—	Gehälter der höheren Beamten, des Hauptkassen- und des Bureaupersonals	—	34 : 24 : 42	690 368	487 319	852 807
3	—	Stationspersonal	—	100 : 0 : 0	24 974 124	—	—
4	1, 2, 3	Expeditionspersonal	—	100 : 0 : 0	4 402 370	—	—
4	4 u. 5	Lokomotivführer und Heizer	—	0 : 0 : 100	—	—	13 087 697
4	6 u. 7	Zugführer und Packmeister	—	0 : 0 : 100	—	—	3 635 439
4	8	Schaffner	—	0 : 100 : 0	—	2 375 421	—
4	9	Bremser	—	0 : 0 : 100	—	—	2 820 167
4	10—14	Werkstättenvorsteher, Werkmeister u. s. w.	—	0 : 40 : 60	—	285 497	428 245
4	15—21	Schiffsbesatzung u. s. w.	72 336	—	—	—	—
5	—	Wohnungeldzuschüsse	—	46 : 16 : 38	3 318 972	1 154 425	2 741 760
6	1	Diätarische Besoldungen	—	88 : 5 : 7	7 922 972	450 169	630 236
6	2	Stellvertretungskosten	—	76 : 4 : 20	790 537	41 607	208 036
6	3	Orts- und Theuerungs-Zulagen	—	75 : 0 : 25	68 496	—	22 832
6	4	Tage- und Akkordlöhne	—	63 : 13 : 24	24 711 730	5 099 246	9 413 993
6	5	Zulagen für frühere Gesellschaftsbeamte	180 241	—	—	—	—
7	1	Tagegelder, Reise- und Umzugskosten	—	71 : 12 : 17	763 645	129 067	182 844
7	2	Fahr-, Stunden- und Nachtgelder	—	0 : 74 : 26	—	8 869 519	3 116 318
7	3	Prämien für Materialersparnisse	—	0 : 0 : 100	—	—	2 969 611

7	4	Dienstkleidung	—	12:57:31	133 881	635 934	345 858
7	5	Mankogelder für Kassenführer	—	100:0:0	70 078	—	—
7	6	Besorgung von Privatdepeschen	46 607	—	—	—	—
8	—	Remunerationen	—	66:16:18	734 393	178 035	202 282
9	—	Unterstützungen	—	67:23:10	69 280	23 783	10 340
10	1	Büreaubedürfnisse	—	90:7:3	1 981 908	154 148	66 063
10	2	Heizung der Diensträume	—	89:1:10	5 377 590	60 422	604 223
10	3	Inventar-Instandhaltung	—	70:5:25	944 021	67 430	337 150
10	4 b. 8	Entschädigung für Benutzung fremder Grundstücke u. s. w.	—	—	62 707	—	—
12	—	Ersatzleistungen u. s. w.	—	—	338 139	—	—
14	1 u. 2	Feuerung und Speisewasser der Lokomotiven	—	—	—	—	19 003 768
14	3 u. 4	Schmieren und Putzen derselben	—	—	—	—	2 411 184
14	5	Schmieren der Wagen	—	—	—	476 030	—
14	6	Beleuchtung der Züge	—	—	—	994 102	—
14	7	Heizung der Züge	—	—	—	855 707	—
14	8	Heizung u. s. w. der Dampfboote und Fähren	42 951	—	—	—	—
14	9	Rangiren mit Pferden	—	—	691 997	—	—
15	1	Unterhaltung der Lokomotiven	—	—	—	—	22 498 247
15	2	Unterhaltung der Personenwagen	—	—	—	6 403 049	—
15	3	Unterhaltung der Gepäck- und Güterwagen	—	—	—	16 402 666	—
15	4	Unterhaltung der Wagendecken	—	—	—	375 089	—
15	5	Unterhaltung der Hilfsanstalten	91 147	—	—	—	—
15	6	Instandhaltung und Ergänzung von Instrumenten	—	—	—	—	233 518
17	1	Erneuerung der Lokomotiven	—	—	—	—	6 821 337
17	2	Erneuerung der Personenwagen	—	—	—	2 707 019	—
17	3	Erneuerung der Gepäck- und Güterwagen	—	—	—	4 464 397	—
18	—	Für Benutzung fremder Bahnanlagen und Beamten	1 620 354	—	—	—	—
19	—	Für Benutzung fremder Betriebsmittel	5 570 100	—	—	—	—
Summa			7 623 736	—	78 047 208	52 690 081	92 643 955

bezirk Hannover stattfand. Unberücksichtigt geblieben sind dabei die Ausgaben für die Besatzungsmannschaften der Fährschiffe, die Zulagen für frühere Gesellschaftsbeamten, die Ausgaben für Besorgung von Privatdepeschen, die Kosten für Heizung der Dampfboote und Fähren und die Unterhaltungskosten solcher Hilfsanstalten. Auch die Kosten für Benutzung fremder Bahnanlagen, Betriebsmittel und Beamten wurden ausgeschieden, weil sich diese Ausgaben nahezu mit den Einnahmen aus der Vergütung fremder Bahnverwaltungen für Benutzung der preussischen Bahnanlagen, Betriebsmittel und Beamten decken.

Von den nach Tabelle I. auf den Fahrdienst entfallenden Kosten im Gesamtbetrage von 52 690 081 Mark sind nach den folgenden Erwägungen dem Güterverkehr anzurechnen:

1. Für Schmieren der Wagen. Es wurden in den Personenzügen von den Wagen 1570 Millionen Achskilometer, in den Güterzügen 5087 Millionen Achskilometer zurückgelegt, wobei die Achsen der gemischten Züge zu $\frac{2}{3}$ den Güterzügen, zu $\frac{1}{3}$ den Personenzügen hinzugezählt wurden. Es sind hiernach von den Kosten des Wagenschmierens $\frac{3}{4}$, mithin $\frac{3}{4}$.476 030 Mark = 357 023 Mark für den Güterverkehr zu rechnen.

2. Für Beleuchtung der Züge. Von dem Gesamtbetrage ist schätzungsweise der fünfte Theil mit 198 820 Mark auf die Güterzüge zu rechnen, wovon nach Absatz von 15 Prozent in Berücksichtigung des Aufenthalts an den Stationen für die freie Strecke verbleiben rund 169 000 Mark.

3. Unterhaltungs- und Erneuerungskosten der Güterwagen. Von dem ganzen Betrage für Güter- und Gepäckwagen ist mit Rücksicht auf die in den Personenzügen laufenden Gepäckwagen etwa der 28. Theil abzusetzen, so dass für den Güterverkehr 20 121 810 Mark verbleiben.

4. Für Unterhaltung der Wagendecken 375089 Mark.

5. Von den übrigen Ausgaben des Fahrdienstes sind die Summen für Schaffner, für Heizung der Wagen, für Unterhaltung und Erneuerung der Personenwagen, welche für den Personenverkehr in Rechnung zu stellen sind, in Absatz zu bringen, wonach 17 636 301 Mark verbleiben, welche nach Verhältniß der Anzahl der Züge, also etwa je zur Hälfte auf den Güter- und Personenverkehr zu vertheilen sind. Von den 8818151 Mark, welche sonach hier in Rechnung kommen, sind zur Berücksichtigung des Aufenthalts der Züge an den Stationen 15 Prozent abzusetzen, wonach 7 495 428 Mark verbleiben.

6. Zu den hier berechneten Summen im Betrage von zusammen 28518350 Mark ist ein Aufschlag von 11,6 Prozent für allgemeine Kosten mit 3 308 129 Mark zu geben.

7. Das Anschaffungskapital der Güterwagen hat 481 322 767 Mark betragen, was bei 4 Prozent einem jährlichen Zinsbetrage von 19 252 911 Mark entspricht.

8. Das Anschaffungskapital der Gepäckwagen hat 21 803 957 Mark betragen und ist beim Güterverkehr mit der Hälfte in Rechnung zu stellen, so daß an Jahreszinsen 436 079 Mark in Betracht kommen.

Von dem unter 7 und 8 berechneten Zinsbetrage des Anschaffungskapitals der Güter- und Gepäckwagen ist nicht allein der auf den fahrplanmäßigen Aufenthalt der Züge an den Stationen entfallende Theil, sondern ein noch weit erheblicherer Betrag in Abzug zu bringen, welcher dem Zeitaufwand beim Be- und Entladen, sowie bei der Zugordnung und bei Uebernachtung von Zügen entspricht, so daß für den Fahrdienst der Strecke schätzungsweise nur der dritte Theil jener Zinsen mit 6 562 997 Mark in Anrechnung zu bringen ist.

Der Fahrdienst im Güterverkehr hat hiernach eine Jahres-

ausgabe von 38389476 Mark erfordert, welche sich auf 10 866 Millionen Tonnen-Kilometer Nutzlast vertheilt, mithin 0,35 Pfennig für den Nutztonnen-Kilometer beträgt.

Da das auf eine Güterzugsachse kommende Wagengewicht zu 2,85 Tonnen anzunehmen ist, so wurden bei den 5087 Millionen Achskilometer des Güterverkehrs an Wagengewicht 14 498 Tonnen-Kilometer befördert. Auf jede Tonne Nutzlast kommen daher 1,35 oder abgerundet $1\frac{1}{3}$ Tonnen Wagengewicht und es waren $2\frac{1}{3}$ Tonnen Rohlast zur Förderung von einer Tonne Nutzlast fortzuschaffen. Die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast haben demnach 0,15 Pfennig betragen, während sie für den Achs-Kilometer der Güterzüge sich auf 0,75 Pfennig stellen.

Auf den Personenverkehr kommen von den in Tabelle I aufgeführten Fahrdienstkosten:

1. Die Besoldung der Schaffner mit 2 375 421 Mark, wovon in Berücksichtigung des Aufenthalts der Züge an den Stationen 10 Prozent abzusetzen sind, also 2 137 879 Mark verbleiben.

2. Für Schmieren der Wagen der vierte Theil des ganzen Betrages (vergl. Nr. 1 der Ausgaben an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs), also 119 008 Mark.

3. Für Beleuchtung der Züge $\frac{4}{5}$ des ganzen Betrages (vergl. Nr. 2 der Ausgaben an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs), also 795 282 Mark, wovon in Berücksichtigung des Aufenthalts der Züge an den Stationen 10 Prozent in Absatz kommen, mithin 715 754 Mark verbleiben.

4. Die Kosten für Heizung der Wagen mit 855 707 Mark, welche nach Abzug von 10 Prozent für den Aufenthalt an den Stationen sich auf 770 137 Mark ermäßigen.

5. Die Kosten für Unterhaltung und Erneuerung der Personenwagen mit 9110 068 Mark.

6. Der 28. Theil (vergl. Nr. 3 der Ausgaben an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs) der Kosten für Unterhaltung und Erneuerung der Güter- und Gepäckwagen, mit Rücksicht auf die in den Personenzügen gefahrenen Gepäckwagen, mit 745253 Mark.

7. Die Hälfte der übrigen Ausgabeposten (vergl. Nr. 5 der Ausgaben an Fahrdienstkosten des Güterverkehrs) mit 8818150 Mark, wovon nach Abzug von 10 Prozent für den Aufenthalt der Züge an den Stationen 7936335 Mark bleiben.

8. Zu den hier berechneten Summen im Gesamtbetrage von 21534434 Mark ist ein Aufschlag von 11,6 Prozent für allgemeine Kosten mit 2497994 Mark zu geben.

9. Das Anschaffungs-Kapital der Personenwagen hat 107323532 Mark betragen, was zu 4 Prozent einen Jahresbetrag von 4292941 Mark Zinsen ausmacht.

10. Das Anschaffungs-Kapital der Gepäckwagen hat 21803957 Mark betragen und ist beim Personenverkehr mit der Hälfte seines Zinsbetrages, also mit 436079 Mark in Rechnung zu bringen.

Von den unter 9. und 10. berechneten Zinsen des Anschaffungskapitals der Personen- und Gepäckwagen sind mit Rücksicht auf den Aufenthalt an den Stationen u. s. w. schätzungsweise nur etwa $\frac{2}{3}$, also 3152680 Mark für den Fahrdienst auf der Strecke in Anrechnung zu bringen.

Der Fahrdienst im Personenverkehr hat demnach eine Jahresausgabe von 27185108 Mark erfordert, welche sich auf 5033 Millionen Personen-Kilometer vertheilt, mithin 0,54 Pfennig für den Personen-Kilometer beträgt.

Es wurden 1570 Millionen Achs-Kilometer im Personenverkehr geleistet und, da auf eine Achse der Personenzüge durchschnittlich ein Gewicht von 4,4 Tonnen zu rechnen ist, 6908 Millionen Tonnen-Kilometer in Personenzügen befördert,

so daß auf eine beförderte Person $1\frac{1}{3}$ Tonnen Last der Personenzüge entfällt.

Der Tonnen-Kilometer der Personenzüge hat sonach an Fahrdienstkosten 0,405 Pfennige erfordert. Die Fahrdienstkosten für den Achs-Kilometer der Personenzüge haben dagegen 1,75 Pfennig betragen.

Für gemischte Züge wird man auf den Tonnen-Kilometer der Zuglast etwa 0,25 Pfennig und für den Achs-Kilometer etwa 1,1 Pfennig an Fahrdienstkosten rechnen können.

Die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge sollen mit f die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge mit f_1 und das Verhältniss der Rohlast zur Nutzlast mit b bezeichnet werden.

§ 5.

Zugkraftskosten.

Bei den, von den Neigungsverhältnissen der Bahn abhängigen Zugkraftskosten sind sinngemäfs auch die ebenfalls von der Bahnneigung abhängigen Bremserkosten zu berechnen.

Nach Tabelle I. haben die Ausgaben für die Bremser 2820167 Mark betragen, welche sich durch den Aufschlag von 11,6 Prozent für allgemeine Kosten auf 3147306 Mark erhöhen. Hiervon bleiben nach Abzug von 15 Prozent für den Aufenthalt der Züge an den Stationen 2675210 Mark für den Streckendienst in Rechnung zu stellen. Es sind dies aber nur die persönlichen Ausgaben für die Bremser; die sachlichen Ausgaben für Verzinsung der Herstellungskosten der Bremsvorrichtungen, für Instandhaltung derselben und für Abnutzung der Radreifen sind unter den bereits festgestellten Fahrdienstkosten enthalten und die Kosten der durch das Bremsen entstehenden Schienen-Abnutzung werden noch unter

den Ausgaben für Schienen-Erneuerung zur Verrechnung gelangen. Es hätten diese sachlichen Kosten des Bremsens eigentlich auch besonders ermittelt und in Abhängigkeit von den Neigungsverhältnissen der Bahn bestimmt werden müssen.

Nach den Vereinbarungen der deutschen Eisenbahnverwaltungen soll in Güterzügen bei Steigungen

bis 1 : 500 der 12. Theil,

„ 1 : 300 „ 10. „

„ 1 : 200 „ 8. „

„ 1 : 100 „ 7. „

„ 1 : 60 „ 5. „

„ 1 : 40 „ 4. „

der Achsen gebremst werden können. Die Zahl der zu bremsenden Achsen soll also, wenn die Gesamtzahl der Achsen $= N$ und die stärkste Neigung der Bahn $= s$ ist, annähernd $n = (s + 0,01) \cdot N$ betragen und die Kosten des Bremsens werden in gleichem Verhältniß mit der Zahl der Bremsachsen wachsend anzunehmen sein. Da die stärkste, auf den verschiedenen Betriebsstrecken des preussischen Staatsbahnnetzes vorkommende Steigung s im Durchschnitt etwa 0,0055 beträgt, so werden nur etwas über ein Drittel der Bremsen mit Rücksicht auf die Neigungsverhältnisse der Bahn eingestellt und etwa zwei Drittel der Bremskosten würden, als unabhängig von der Bahnneigung, den Fahrdienstkosten zuzurechnen sein. Da nun die der GröÙe nach aus den statistischen Nachweisungen nicht zu ermittelnden sachlichen Bremskosten unter den Fahrdienstkosten bereits mit enthalten sind, so mag zur Ausgleichung angenommen werden, dass die noch zu verrechnenden persönlichen Bremskosten ihrem ganzen Betrage nach proportional der stärksten Neigung der Betriebsstrecke sind. Man wird auch keinen für das Endergebniß der Rechnung in Betracht kommenden Fehler begehn, wenn man die Bremskosten allein dem Güter-

verkehr zur Last legt. Die Bremserkosten sind danach gleich $e s T$ zu setzen, worin e ein Koeffizient, s der durchschnittliche Werth der auf den verschiedenen Betriebsstrecken vorkommenden stärksten Neigung $= 0,0055$ und T die Anzahl der Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge $= 26354$ Millionen-Tonnen-Kilometer ist. Der Koeffizient e ergibt sich hiernach rund zu 2 Pfennig.

Nach Abzug der Bremserkosten bleiben nach Tabelle I. an Kosten für den Zugförderungsdienst 89823 788 Mark übrig, deren einzelne Posten zur Feststellung der Kosten eines Lokomotiv-Kilometers in folgender Weise zu vertheilen sind.

Tabelle II.
Ermittelung der Kosten des Lokomotiv-Kilometers.

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der		Stationskosten Mark.
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	
1. Für Zugführer und Packmeister wurden 3635439 Mark verausgabt, welche nach der Zahl der Zug-Km zu vertheilen sind, wobei aber die Güterzüge schätzungsweise $1\frac{1}{2}$ mal so hohe Kosten als die Personenzüge verursachen. Es betrug die Anzahl der Personen und Schnell-			
zug-Km	71 853 306		
dazu $1\frac{1}{2}$ mal Güter- und			
gemischte Züge . .	121 326 856		
giebt zusammen . .	193 180 162		
Zu übertragen . .	—	—	—

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der		Stationskosten
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	
Uebertrag . .			
es kommen daher auf einen Personenzug-Km = 1,88 Pfg.			
und auf einen Güterzug-Km. = $1\frac{1}{2} \cdot 1,88 = 2,92$ Pfg.			
Hiervon sind für den Aufenthalt an den Stationen bei den Personenzügen 10 Prozent, bei den Güterzügen 15 Prozent in Abzug zu bringen und den Stationskosten hinzuzufügen,			
also $0,1 \cdot 0,0188 \cdot 71853306 =$	1,69	—	135 084
und $0,15 \cdot 0,0282 \cdot 80884571 =$	—	2,40	342 142
2. Für Lokomotivführer und Heizer, einschließlic Fahr- und Stunden-gelder wurden 16204015 Mark verausgabt, welche auf die Zahl der geleisteten Lokomotiv-Km zu vertheilen sind, wobei aber zu berücksichtigen ist, daß die von Personenzügen geleisteten wegen des geringeren Zeitaufwandes nur $\frac{2}{3}$ so theuer sind, als die übrigen. Als Theilungszahl erhält man daher:			
$\frac{2}{3}$ mal Pers.-u. Schn.-Züge 47 902 204			
Güterzüge u. Rangirdienst 154 986 007			
<u>= 202 888 211</u>			
Zu übertragen . .	1,69	2,40	477 226

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der		Stationskosten Mark.
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	
Uebertrag . .	1,69	2,40	477 226
Man erhält hiernach für den Lokomotiv-Km in Güterzügen oder im Rangirdienst 7,99 Pfg. und für den Lokomotiv-Km von Personenzügen 5,33 Pfg. Hiervon sind für den Aufenthalt an den Stationen bei den Personenzügen 10 Prozent, bei den Güterzügen 15 Prozent in Abzug zu bringen und den Stationskosten hinzuzufügen, mithin für die Personenzüge			
0,1 · 0,0533 · 71 853 306	4,80	—	382 971
für die Güterzüge			
0,15 · 0,0799 · 80 884 371	—	6,79	969 399
Die Kosten im Rangirdienst haben			
betragen 0,0799 · 41 680 255 =	—	—	3 330 252
3. Die Ausgaben für Unterhaltung und Erneuerung der Lokomotiven haben im Ganzen 29 319 584 Mark betragen, wovon $\frac{2}{3}$, also 19 546 389 Mark, als unabhängig von der Gröfse der Arbeitsleistung der Lokomotiven gerechnet werden können. Da nach den statistischen Nachweisen für Unterhaltung der Lokomotiven 257 632 533			
Zu übertragen . .	6,49	9,19	5 159 848

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der		Stationskosten Mark
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	
Uebertrag . . .	6,49	9,19	5 159 848
Lokomotiv-Km in Betracht kommen, so entfallen auf 1 Lokomotiv-Km . . .	7,60	7,60	—
Davon kommen auf den Rangirdienst 0,0760 . 83 089 700 =	—	—	6 314 826
4. Andere persönliche und sachliche Ausgaben, welche unabhängig von der Gröfse der Arbeitsleistung der Lokomotiven sind, haben betragen:			
Für Gehälter der höheren			
Beamten	852 807		
Werkstättenvorsteher u.s.w.	428 245		
Wohnungsgeldzuschüsse	2 741 760		
Diätarische Besoldungen	630 236		
Stellvertretungskosten	208 036		
Orts- und Theuerungszu-			
lagen	22 832		
Tagegelder und Reisekosten	182 844		
Dienstkleidung.	345 858		
Remunerationen	202 282		
Unterstützungen	10 340		
Büreaubedürfnisse	66 063		
Heizung der Diensträume	604 223		
Instandhaltung des Inventars	337 150		
Zu übertragen	14,09	16,79	11 474 674

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer für		Stationskosten Mark
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	
Uebertrag . .	14,09	16,79	11 474 674
Schmieren und Putzen der Lokomotiven 2 411 184			
Insgemein, für Instrumente u. s. w. 233 518			
zusammen 9 277 378			
Vertheilt auf 226 839 313 Lokomotiv-Kilometer ergibt dies für den Km und für den Rangirdienst	4,09	4,09	—
0,0409 . 41 680 235	—	—	1 704 361
=	18,18	20,88	13 179 035
5. Als Antheil der Kosten der allgemeinen Verwaltung ist hierzu ein Aufschlag von 11,6 Prozent zu geben, also	2,11	2,42	1 528 768
6. Das Anschaffungskapital der Lokomotiven hat betragen 383 343 794 ferner das Anlagekapital der Lokomotivschuppen, nach Schätzung 42 000 000			
= 425 343 794			
Die Zinsen dieses Kapitals sind bei Anrechnung von 4 Prozent = 17 213 752 Mark.			
Zu übertragen . .	20,29	23,30	14 707 803

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der		Stationskosten
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	
Uebertrag . .	20,29	23,30	14 707 803
Da die Güterzugslokomotiven im Durchschnitt jährlich nur etwa $\frac{4}{5}$ der Fahrlänge der Personenzugs- und Rangir-Lokomotiven zurücklegen, so entfällt bei jenen ein um $1\frac{1}{4}$ höherer Zinsenbetrag auf den Km als bei diesen. Da die Zahl der Güterzugs-Kilometer etwa $\frac{1}{3}$ der Gesamtzahl der Lokomotiv-Km beträgt, so ist für die Theilung die Zahl der Lokomotiv-Km um $\frac{1}{12}$ zu erhöhen, also auf $1\frac{1}{12} \cdot 226\,839\,313 = 245\,742\,589$ zu bringen. Die Theilung ergibt dann für den Personenzugs-Lokomotiv-Km	7,00	—	—
für den Güterzugs-Lokomotiv-Km .	—	8,75	—
auf den Rangirdienst kommen:			
0,07 · 41 680 235 =	—	—	2 917 615
7. An Ausgaben, welche als proportional der Gröfse der von den Lokomotiven geleisteten Arbeit anzunehmen sind, kommen in Rechnung für:			
Erneuerung der Schienen 18 608 111			
Arbeitslöhne 9 413 993			
Zu übertragen . .	27,29	32,05	17 625 418

Gegenstand der Ausgabe.	Betrag f. einen Lokomotiv-Kilometer der		Stationskosten
	Person.-Züge Pfg.	Güter-Züge Pfg.	
Uebertrag . .	27,29	32,05	17 625 418
Prämien für Material- ersparnisse			2 969 611
Lokomotiv-Feuerung und Speisewasser			19 003 768
Ein Drittel der Ausgaben für Unterhaltung und Erneuerung der Loko- motiven			9 773 194
			<u>= 59 768 777</u>
Dazu der Antheil der Kosten der allgemeinen Verwal- tung mit 11,6 Prozent =			6 933 178
			<u>zusammen 66 701 955</u>
Dies giebt bei 226 839 313 Loko- motiv-Km auf einen Lokomotiv-Km 29,4 Pfennige.			
Für das Anhalten und Ingangbrin- gen der Züge sind hiervon schätzungs- weise 3 Prozent abzusetzen, so dass man erhält	28,52	28,52	1 633 003
Auf den Rangirdienst kommen 0,294 . 41 680 235	—	—	12 754 152
Summa . .	—	—	<u>32 002 573</u>

Setzt man die von der Gröfse der Arbeitsleistung der Lokomotiven unabhängigen und lediglich proportional der Fahrlänge wachsenden Kosten für den Km $= B_0$ und die aus der Verrichtung eines Tonnen-Kilometers Arbeit entstehenden Kosten $= a$, so sind die Kosten eines Lokomotiv-Kilometer B bei Leistung einer Zugkraft von Z Tonnen:

$$B = B_0 + aZ$$

Die durchschnittlich von den Lokomotiven auf dem preussischen Staatsbahnnetze im Jahre 1885—86 geleistete Zugkraft ist zu 1,15 Tonnen anzunehmen. *) Es stimmt diese Ziffer auch sehr gut mit dem Kohlenverbrauche, welcher unter Ausschluss des zum Anheizen der Lokomotiven verwendeten Holzes 2 191 266 Tonnen betragen hat. Es verbleiben hiervon nach Abzug von 3 Prozent für den Aufenthalt an den Stationen und für das Ingangbringen der Züge 2 125 528 Tonnen. Nach Wöhler (Centralblatt der Bauverwaltung 1882 Nr. 40) werden in den Lokomotiven durch ein kg Steinkohle durchschnittlich 7,06 kg Wasser verdampft und nach Frank „Widerstände der Lokomotiven und Bahnzüge. Wiesbaden. Kreidel's Verlag. 1886. Seite 64“ wurden bei einem Versuche durch ein kg Wasser von einer Lokomotive 17 254 Meter-Kilogramm Arbeit geleistet, so dass durch ein kg Steinkohle $7,06 \cdot 17\,254 = 121\,813$ Meter-Kilogramm oder durch eine

*) Für das preussische Eisenbahnnetz vom Jahre 1874 wurde von mir in der Schrift „Die Betriebskosten der Eisenbahnen in ihrer Abhängigkeit von den Neigungs- und Krümmungsverhältnissen der Bahn. Leipzig bei Wilh. Engelmann. 1877“ die durchschnittliche Zugkraft der Lokomotiven — etwas reichlich hoch — zu 1,37 Tonnen geschätzt. Schübler „Ueber Selbstkosten und Tarifbildung der deutschen Eisenbahnen. Stuttgart bei Paul Neff. 1879“ bestimmt diesen Werth zu 1,25 Tonnen. Baumeister „Summarische Veranschlagung der Betriebskosten der Adhäsionseisenbahnen. Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens 1880“ ermittelt für das preussische Bahnnetz vom Jahre 1877 die durchschnittliche Zugkraft der Lokomotiven zu 1,18 Tonnen.

Tonne Steinkohlen 121,813 Tonnen-Kilometer Arbeit geleistet werden. Die 2 125 528 Tonnen in den Lokomotiven verwendeter Steinkohlen müssten hiernach eine Arbeitsleistung von 259 116 940 Tonnen-Kilometern geben, also bei 226 839 313 Lokomotiv-Kilometern eine mittlere Zugkraft von 1,14 Tonnen liefern. Unter der Zugkraft sind natürlich auch die zur Fortbewegung der Lokomotive selbst und die Reibungswiderstände der Maschinentheile einbegriffen.

Aus der Gröfse der mittleren Zugkraft der Lokomotiven von 1,15 Tonnen und den nach Tabelle II. für die Arbeitsleistung der Lokomotiven auf ein Km Fahrlänge aufgewendeten Kosten von 28,52 Pfennig ergibt sich, dass die Leistung einer Zugkraft von einer Tonne für den Lokomotiv-Kilometer rund 25 Pfennige gekostet hat.

Hiernach sind die Kosten eines Lokomotiv-Kilometers bei Leistung von Z Tonnen Zugkraft zu setzen:

Für Personenzüge:

$$B = 27 + 25 Z$$

Für Güterzüge:

$$B = 32 + 25 Z.$$

§ 6.

Stations- und Expeditionskosten.

Die Stations- und Expeditionskosten kommen für die Aufgaben des Trafsirens nicht in Betracht und bedürfen deshalb hier keiner eingehenden Untersuchung. Dieselben haben im Ganzen betragen:

Nach Tabelle I. 78 047 208 Mark

Dazu als Antheil an den Kosten der all-

gemeinen Verwaltung 11,6 Prozent = 9 043 476 „

zu übertragen . . 87 081 684 Mark

Uebertrag . .	87 081 684 Mark.
Die von den Fahrdienstkosten in § 4 mit Rücksicht auf den Aufenthalt an den Stationen abgesetzten Beträge mit	17 645 228 „
Die von den Zugförderungskosten in § 5 abgesetzten Beträge mit . . .	32 002 573 „
zusammen . .	136 738 585 Mark.

Es ist nach den vorliegenden statistischen Nachweisen kaum durchführbar, diese Kosten in zutreffender Weise für den Personen- und Güterverkehr zu zerlegen. Baumeister (a. a. O.) hat die Stations- und Expeditionskosten für eine Person zu 15,28 Pfennig und für eine Tonne Güter zu 69,88 Pfennig ermittelt, wobei aber der Rangirdienst, welcher von ihm den Streckenkosten zugerechnet wird, nicht berücksichtigt ist. Für den Verkehr der preussischen Staatsbahnen vom Jahre 1885—86, in welchem 161 812 362 Personen und 86 406 992 Tonnen Güter befördert wurden, mußten nach diesen Sätzen die Stations- und Expeditionskosten rund 85 Millionen Mark betragen haben, also nahezu die Summe der in Tabelle I. unter Zuschlag von 11,6 Prozent für Kosten der allgemeinen Verwaltung für die Expeditionskosten enthaltenen Summen. Von dem Gesamtbetrage der Expeditionskosten wurden nach den von Baumeister ermittelten Einheitssätzen etwa $\frac{2}{7}$ auf den Personen- und $\frac{5}{7}$ auf den Güterverkehr fallen. Theilt man die in Tabelle I. angegebenen Expeditions- und Stationskosten, unter Hinzurechnung des entsprechenden Antheils an den Kosten der allgemeinen Verwaltung nach diesem Verhältniß, addirt die von den Fahrdienstkosten in § 4 mit Rücksicht auf den Aufenthalt an den Stationen ausgeschiedenen Beträge und zerlegt die in Tabelle II. angegebenen vornehmlich durch den Rangirdienst und den Aufenthalt der Züge an den Sta-

tionen entstehenden Stationskosten, welche besonders dem Güterverkehr zur Last fallen, im Verhältniß von 1 : 10, so kommen von den gesammten Stations- und Expeditionskosten auf den Personenverkehr 29 802 171 Mark und auf den Güterverkehr 105 936 314 Mark. Bei der angegebenen Menge der beförderten Personen und Güter erhält man hieraus die Stations- und Expeditionskosten für eine Person zu 18,4 Pfennig und für eine Tonne Güter zu 122,6 Pfennig, in welchen Beträgen die Zinsen für die Anlagekosten und die Unterhaltungskosten der Bahnhöfe nicht mit begriffen sind. Es muß aber hervorgehoben werden, daß für die in solcher Weise vorgenommene Vertheilung der Stations- und Expeditionskosten auf den Personen- und Güterverkehr der Anspruch auf befriedigende Genauigkeit nicht erhoben werden kann.

§ 7.

Zug-Widerstand.

Bei Annahmen über den Widerstand der Eisenbahnzüge hat man vielfach die bekannten im Jahre 1868 auf der französischen Ostbahn von Veuillemin, Dieudonné und Guèbhard angestellten Versuche zu Grunde gelegt. Die Formeln, in welchen die Ergebnisse jener Versuche zusammengefaßt werden, enthalten in unzuweckmäßiger und irreführender Weise die Zuggeschwindigkeit in der ersten Potenz unter Multiplikation durch einen mit der Geschwindigkeit wachsenden Koeffizienten. Die Erkenntniß, daß der Einfluß der Geschwindigkeit v auf den Zugwiderstand sich nur im quadratischen Verhältniß derselben äußern kann, hat besonders die deutschen Ingenieure fast allgemein veranlaßt, die Ergebnisse der erwähnten Versuche auf eine Formel von der Form:

$$w = a + bv^2$$

zurückzuführen. In früheren Untersuchungen (die Betriebs-

kosten der Eisenbahnen u. s. w. S. 15) habe ich nach den genannten Versuchen ermittelt:

$$w = 0,0015 + 0,00003 v^2$$

wobei v in Metern für die Sekunde einzusetzen ist. Baumeister (a. a. O.) gelangt fast zu der gleichen Formel und setzt $w = 0,0018 + 0,0000023 v^2$ für v im Km in der Stunde oder $w = 0,0018 + 0,00003 v^2$, wenn v in Metern und in der Sekunde angegeben wird.

Später überzeugte ich mich, daß nach den Versuchsergebnissen von Veuillemin, Dieudonné und Guèbhard, durch welche lediglich der Widerstand der Wagen mit Ausschluss der Lokomotive angegeben wird, der Einfluß der Geschwindigkeit zu stark hervortritt, und ich glaubte zutreffender für den ganzen Zug mit Einschluss der Lokomotiven setzen zu sollen: (A. a. O. S. 30.)

$$w = 0,002 + 0,00002 v^2.$$

Die von Frank angestellten und in der bereits erwähnten Schrift mitgetheilten Versuche bestätigen die Auffassung, daß die in Rede stehenden französischen Versuche den Einfluß der Geschwindigkeit zu stark erscheinen lassen.

Frank fand für den Widerstand eines Personenzuges auf gerader horizontaler Bahn, wenn mit L das Gewicht der Lokomotive sammt Tender, mit Q das Gewicht der beförderten Zuglast, mit w_1 und w_{11} die Widerstandskoeffizienten der Lokomotive und bezw. der Wagen bezeichnet werden, wenn ferner F_1 die dem Luftwiderstande ausgesetzte Vorderfläche der Lokomotive in qm und F_{11} die in dieser Beziehung für den übrigen Theil des Zuges anzusetzende Fläche und endlich v die Fahrgeschwindigkeit in Metern und in der Sekunde ist:

$$W = 1,033 \{ w_1 L + w_{11} Q + 0,1225 (F_1 + F_{11}) v^2 + 31 \}$$

wobei L , Q und W in kg ausgedrückt sind. Als Vorderfläche

der Lokomotive wird F_1 zu 7 und zur Ermittlung von F_{11} für den Packwagen 1,7 und für jeden folgenden Wagen 0,5 angegeben. Setzt man die Zahl der Wagen, einschliesslich des Gepäckwagens, $= n$, so ist also $F_1 + F_{11} = 8,2 + 0,5 n$. Da das Gewicht eines Wagens der Personenzüge durchschnittlich zu 8800 kg anzunehmen ist, also $n = \frac{Q}{8800}$ ist, so folgt weiter

$F_1 + F_{11} = 8,2 + 0,0000568 Q$. Die Widerstandskoeffizienten wurden zu $w_1 = 0,0032$ und $w_{11} = 0,0025$ gefunden, mithin entsteht nach Einsetzung dieser Werthe:

$$W = 0,003306 L + 0,00258 Q + (1,038 + 0,0000072 Q) v^2 + 31.$$

Der Widerstandskoeffizient für die Lokomotive allein ist hiernach:

$$w = 0,003306 + \frac{31}{L} + \frac{1,038}{L} v^2$$

oder bei dem Durchschnittsgewicht der Personenzugslokomotiven von $L = 54000$ kg:

$$w_1 = 0,00388 + 0,0000192 v^2,$$

wogegen der Widerstandskoeffizient für den Wagenzug

$$w_{11} = 0,00258 + 0,0000072 v^2$$

ist.

Haben die Wagen das m -fache Gewicht der Lokomotiven, so ist der durchschnittliche Widerstandskoeffizient für den Personenzug

$$w = 0,00258 + \frac{0,0013}{1+m} + \left(0,0000072 + \frac{0,000012}{1+m} \right) v^2$$

Für Personenzüge ist m im Durchschnitt $= 2$ zu rechnen, so daß sich der Widerstandskoeffizient der Personenzüge ergibt zu:

$$w = 0,00301 + 0,0000112 v^2$$

Für Schnellzüge ist dagegen $m = 1\frac{1}{2}$ zu rechnen, also

$$w = 0,00310 + 0,0000120 v^2$$

Für Güterzüge giebt Frank die Formel:

$W = 1,04 \{ w_1 L + w_{11} Q + 0,1225 (F_1 + F_{11}) v^2 + 50 \}$
 wobei $w_1 = 0,0038$, $w_{11} = 0,0025$ und für die Vorderfläche der Lokomotive $F_1 = 8$, für den darauf folgenden Gepäckwagen 1,7 und für jeden der übrigen Wagen im Durchschnitt 0,6 zu setzen ist, so daß für n Wagen $F_1 + F_{11} = 9,1 + 0,6 n$ ist. Da das durchschnittliche Gewicht eines Güterwagens zu 9800 kg anzunehmen ist, so folgt $F_1 + F_{11} = 9,1 + 0,0000612 Q$. Hiernach ist:

$W = 0,003952 L + 0,0026 Q + (1,149 + 0,00000078 Q) v^2 + 52$
 und danach der Widerstandskoeffizient für die Lokomotive allein, wenn man das durchschnittliche Gewicht einer Güterzugslokomotive zu 60 000 kg annimmt:

$$w_1 = 0,00482 + 0,0000192 v^2$$

und für die Güterwagen:

$$w_{11} = 0,0026 + 0,0000078 v^2.$$

Ist das Gewicht des Zuges das m -fache der Lokomotive, so ist der durchschnittliche Widerstandskoeffizient für den ganzen Güterzug:

$$w = 0,0026 + \frac{0,00222}{1 + m} + \left(0,0000078 + \frac{0,0000114}{1 + m} \right) v^2.$$

Da im Mittel für das preussische Bahnnetz m etwa = 6 ist, so folgt für die Güterzüge:

$$w = 0,00292 + 0,0000094 v^2$$

also für $v = 7$, $w = 0,00338$.

Auf Bahnen mit stärkeren Steigungen wird sowohl m wie auch v kleiner; z. B. sinkt auf Gebirgsbahnen mit einer Steigung von 0,025 der Werth m auf $2\frac{1}{2}$ und v auf $3\frac{1}{2}$, so daß der Widerstandskoeffizient $w = 0,00337$ wird. Es ist also für Güterzüge der Widerstandskoeffizient für Flachland wie für Gebirgsbahnen gleich groß, was für die Vereinfachung der Rechnungen von Belang ist.

Bei den Personenzügen vermindert sich auf Gebirgsbahnen das Zuggewicht allerdings nicht in solchem Masse, daß bei der erforderlich werdenden Verminderung der Geschwindigkeit der Widerstandskoeffizient die gleiche Gröfse wie im Flachlande behielte. Da aber, wie sich zeigen wird, der Personenverkehr für die Aufgaben des Trafsirens von weit geringerer Bedeutung als der Güterverkehr ist, so kann ohne Bedenken auch für die Personenzüge der Widerstandskoeffizient im Flachlande und Gebirge gleich groß angenommen werden.

Der Widerstandskoeffizient ist also auf gerader horizontaler Bahn bei der auf dem preussischen Bahnnetze vorkommenden mittleren Zugbelastung:

für Güterzüge:

$$w = 0,00292 + 0,0000094 v^2$$

für Personenzüge:

$$w = 0,00301 + 0,0000112 v^2$$

für Schnellzüge:

$$w = 0,00310 + 0,0000120 v^2$$

Diese Formeln, welche für Geschwindigkeiten von bezw. 7, 13 und 18 m die Widerstandskoeffizienten 0,00338, 0,00490 und 0,00699 ergeben, lassen sich mit befriedigender Schärfe durch eine einheitliche, für alle Zugattungen, innerhalb der bei denselben vorkommenden Geschwindigkeiten, gültige Formel von der Form:

$$w = 0,00273 + 0,0000131 v^2$$

ersetzen. Diese liefert für die Geschwindigkeiten 7, 13 und 18 m die Werthe $w = 0,00337$, 0,00494 und 0,00697.

Da aber die Geschwindigkeit der Züge nicht gleichmäfsig ist, so ist der durchschnittliche Widerstand gröfser als der mittleren Fahrgeschwindigkeit entsprechen würde. Wäre z. B. bei einer Fahrlänge l die Geschwindigkeit auf $\frac{1}{16} l$ gleich $\frac{1}{2} v$, wie es etwa beim Anfahren und Anhalten der Züge eintritt,

ferner auf $\frac{1}{16} l$ gleich $\frac{3}{4} v$, und endlich auf $\frac{3}{8} l$ gleich $\frac{9}{7} v$, wobei nach der Gleichung:

$$\frac{\frac{1}{16} l}{\frac{1}{2} v} + \frac{\frac{1}{16} l}{\frac{3}{4} v} + \frac{\frac{1}{2} l}{v} + \frac{\frac{3}{8} l}{\frac{9}{7} v} = \frac{l}{v}$$

als mittlere Geschwindigkeit sich v ergibt, so wäre der Zugwiderstand in dem von der Geschwindigkeit abhängigen Theile:

$$\begin{aligned} 0,0000131 \left(\frac{1}{16} \left(\frac{1}{2} v \right)^2 + \frac{1}{16} \left(\frac{3}{4} v \right)^2 + \frac{1}{2} v^2 + \frac{3}{8} \left(\frac{9}{7} v \right)^2 \right) \\ = 0,0000131 \cdot 1,218 \cdot v^2 \\ = 0,000016 v^2. \end{aligned}$$

Die Abweichungen von der mittleren Geschwindigkeit, wie solche hier beispielsweise angenommen wurden, werden durch das Anfahren und Anhalten der Züge sowie mit Rücksicht auf die Steigungsverhältnisse theils in stärkerem theils in geringerem Mafse eintreten, nach Schätzung aber durchschnittlich die Feststellung des Koeffizienten, mit welchem das Quadrat der mittleren Geschwindigkeit v zu multiplizieren ist, zu 0,000016 rechtfertigen.

Es ist ferner zu berücksichtigen, daß durch den Wind eine Erhöhung des Zugwiderstandes eintritt. Bei einer Windgeschwindigkeit v , erhöht sich der von der Geschwindigkeit abhängige Theil des Widerstandskoeffizienten in der einen Richtung auf $0,0000131 (v + v_1)^2$ und vermindert sich in der anderen Richtung auf $0,0000131 (v - v_1)^2$, wird also im Mittel zu $0,0000131 (v^2 + v_1^2)$. Die Steigerung des Widerstandskoeffizienten beträgt also $0,0000131 v_1^2$. Trifft der Wind dagegen den Zug rechtwinklich mit einer Geschwindigkeit v_1 , so äußert derselbe auf den qm Seitenfläche einen Druck von $0,1225 v_1^2$ kg, welcher bei Annahme eines Reibungskoeffizienten von $\frac{1}{6}$ einen Widerstand von $0,0204 v_1^2$ kg bewirkt. Da auf eine Tonne Zuggewicht 2 qm Seitenfläche zu rechnen sind, so ist die Vermehrung des Widerstandskoeffizienten durch Seitenwind $= 0,0000408 v_1^2$.

Wird angenommen, daß durchschnittlich sowohl in der Längsrichtung des Zuges wie rechtwinklich dagegen ein Wind von 1 m Geschwindigkeit herrscht, so steigert sich der konstante Theil des Widerstandskoeffizienten um $0,0000131 + 0,0000408 = 0,0000539$, also auf rund 0,0028.

Nach diesen Erörterungen ist der Widerstandskoeffizient der Eisenbahnzüge demnach:

$$(Gl. 1) \quad . \quad . \quad . \quad w = 0,0028 + 0,000016 v^2.$$

Der Widerstandskoeffizient soll hiernach für Güterzüge, deren mittlere Geschwindigkeit 7 m ist, zu $w = 0,0036$, für Personenzüge bei einer mittleren Geschwindigkeit von 13 m zu 0,0055 und für Schnellzüge bei einer mittleren Geschwindigkeit von 18 m zu 0,008 angenommen werden. Die mittlere Geschwindigkeit ist unter Ausschuß des Aufenthalts an den Stationen, also für die Fahrt von Station zu Station, zu bestimmen.

Ueber die Vergrößerung des Zugwiderstandes in den Kurven sind bekanntlich vielfache praktische Versuche und theoretische Untersuchungen angestellt, ohne bis jetzt allgemein als zutreffend anerkannte Ergebnisse zu erreichen. Es sind auf den Kurvenwiderstand so mancherlei wechselnde Umstände von Einfluß, daß derselbe in voller Schärfe allgemein sich überhaupt nicht angeben läßt. Am zutreffendsten erscheint es wohl nach dem Vorgange von Kaven's und Baumeister's den Kurven-Widerstands-Koeffizienten durch die einfache Formel:

$$c = \frac{1}{r}$$

zu geben, wenn r der Krümmungshalbmesser der Kurve in Metern ist. *)

*) In früheren Untersuchungen habe ich statt dessen $c = \frac{1,7}{r} - 0,002$ gesetzt, was für mittlere Werthe zwischen $r = 250$ und $r = 600$ gut paßt, aber für kleinere und größere Krümmungshalbmesser weniger gut mit der Erfahrung stimmt, als die jetzt gewählte einfachere Formel.

Ist der Centriwinkel einer Kurve $= \alpha$ Grad, so ist ihre Länge λ in Kilometern, wenn r in Metern angegeben wird, $= 0,0000175 \alpha r$. Man erhält daher die zur Ueberwindung des Kurven-Widerstandes für den Uebergang einer Tonne zu leistende Arbeit in Tonnen-Kilometern $= c\lambda = \frac{1}{r} \cdot 0,0000175 \alpha r = 0,0000175 \alpha$ oder abgerundet $= 0,000018 \alpha$.

Zur Bestimmung der Arbeit, welche die Ueberwindung des Kurven-Widerstandes für eine Bahntrasse erfordert, braucht man also nur die Summe der Centriwinkel aller Kurven zu kennen.

§ 8.

Die Zugkraft der Lokomotiven.

Die Zugkraft der Lokomotiven findet ihre Grenze in der Gröfse der gleitenden Reibung der Triebräder auf den Schienen oder auch in der Dampfentwicklungsfähigkeit des Lokomotivkessels oder auch in den Konstruktionsverhältnissen einzelner Maschinentheile.

Ist L das Gewicht der Lokomotive und des Tenders, αL der auf den Treibrädern ruhende Theil des Gesamtgewichts, β der Koeffizient der gleitenden Reibung zwischen Rad und Schiene, so kann die Zugkraft der Lokomotive höchstens $Z = \alpha \beta L$ sein.

Entspricht die Dampfentwicklungsfähigkeit des Lokomotivkessels N Pferdekraften, wobei $N = n L$ gesetzt werde, ist ferner die verlangte Fahrgeschwindigkeit v Meter in der Sekunde, so beträgt die äußerste Zugkraft $Z = \frac{75 n}{v} L$.

Ist die Kolbenfläche der Dampfzylinder $= \frac{d^2 \pi}{4}$, der Dampfdruck $= p$, der Füllungsgrad der Dampfzylinder $= a$ und der Kolbenhub $= h$, so wird bei einer Triebradumdrehung in

den beiden Dampfzylindern eine Arbeit $a p h d^2 \pi$ verrichtet, während die Lokomotive bei einem Triebraddurchmesser D einen Weg $D\pi$ zurücklegt, wonach die Zugkraft der Lokomotive $Z = \frac{a p h d^2}{D}$ ist. Wäre beispielsweise $d = 55$ cm, $h = 60$ cm, $D = 120$ cm, $p = 10$ kg für den qcm, so wäre $Z = a \cdot 15125$ kg. Es wird, wie diese beispielsweise gewählten Annahmen zur Genüge zeigen, die Zugkraft wohl nur ganz ausnahmsweise in den Konstruktionsverhältnissen der Lokomotive eine praktisch in Betracht kommende Begrenzung finden.

Der Reibungswiderstand wird, da der Koeffizient α , je nachdem alle Lokomotiv- und Tenderachsen gekuppelt sind oder nur eine Triebachse vorhanden ist, zwischen 1 und 0,2 schwanken kann, und da der Koeffizient β im Flachlande zu $\frac{1}{6}$, im Hügellande und Gebirge zu $\frac{1}{7}$, in Tunneln zu $\frac{1}{8}$ oder im ungünstigsten Falle nur zu $\frac{1}{10}$ anzunehmen ist, die Zugkraft zwischen $1 \cdot \frac{1}{6}$ und $\frac{1}{5} \cdot \frac{1}{10}$ also zwischen 0,167 L und 0,02 L eingrenzen.

Die Dampfentwicklung wird, da die Zahl der Pferdekkräfte, wenn das Lokomotivgewicht in kg angegeben ist, zu 0,006 L anzunehmen ist, die Zugkraft auf 0,15 L steigern lassen, wenn man sich mit einer Geschwindigkeit von 3 m in der Sekunde begnügt, aber auf 0,02 L beschränken, wenn man eine Geschwindigkeit von 22,5 m verlangt.

Setzt man nun, indem man mit z den Zugkraftskoeffizienten bezeichnet, $Z = zL$, so wird mit Rücksicht auf die Dampfentwicklung wie mit Rücksicht auf den Reibungswiderstand der Triebräder auf den Schienen z zwischen 0,02 und 0,16 schwanken können und man wird in jedem Falle den kleinsten der aus beiden Umständen sich ergebenden Werthe für den Zugkraftskoeffizienten in Rechnung stellen müssen.

§ 9.

Mafsgebende Steigung, schädliche und unschädliche Steigungen.

Ist Q das Gewicht der sämtlichen Wagen, L das Gewicht der Lokomotive und des Tenders, w der Widerstandskoeffizient für den Zug und s das Steigungsverhältnifs der Bahn, so ist bei der Bergfahrt eine Zugkraft $Z = (Q + L)(w + s)$ erforderlich. Zur Bestimmung des Zuggewichts, welches eine Lokomotive bei dem Zugkraftskoeffizienten z die Steigung aufwärts fördern kann, erhält man die Gleichung:

$$zL = (Q + L)(w + s)$$

und hieraus:

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L.$$

Diejenige Steigung s , welche zur Berechnung des Zuggewichts dient, heisst die mafsgebende Steigung:

Meistens ist die steilste auf der Bahnlinie vorkommende Steigung die mafsgebende. Ausnahmsweise können steile Strecken von geringer Länge für die Bestimmung des Zuggewichts unberücksichtigt bleiben, sobald es als zulässig erachtet wird, dieselben mit Anlauf, das heisst unter theilweiser Aufzehrung der lebendigen Kraft des Zuges (vergl. § 26), zu ersteigen. Kommen aber innerhalb der steilsten Strecken Kurven vor, deren Widerstandskoeffizient $= c$ ist, so ist zur Feststellung der mafsgebenden Steigung dem steilsten Steigungsverhältnifs s noch dieser Kurvenwiderstandskoeffizient c hinzuzufügen. Kämen beispielsweise in einer Bahnlinie Steigungsverhältnisse in gerader Strecke von 0,012 vor, daneben aber Steigungen von 0,010 in Kurven von 300 m Halbmesser, deren Widerstandskoeffizient $c = 0,0033$ ist, so wäre als mafsgebende Steigung $0,010 + 0,0033 = 0,0133$ in Rechnung zu stellen.

Die mafsgebende Steigung ist also unter Aufserachtlassung ausnahmsweise vorkommender Anlaufsteigungen nach derjenigen

Strecke zu bemessen, in welcher das Steigungsverhältniß unter Hinzufügung des Widerstandskoeffizienten der darin vorkommenden Kurven am grössten wird.

Auf Steigungen, welche so gering sind, daß auf der Thalfahrt noch Zugkraft aufgewendet werden muß, welche also kleiner als w sind, ist die Zugkraft bei der Thalfahrt:

$$Z_{11} = (Q + L) (w - s),$$

so daß das Mittel zwischen dieser und der Zugkraft bei der Bergfahrt:

$$Z_1 = (Q + L) (w + s)$$

sich zu:

$$Z = (Q + L) w$$

ergiebt, also genau so groß wie auf der Horizontalen.

Für den Fall, daß die in beiden Richtungen zu befördernden Lasten gleiche GröÙe haben, sind also Steigungen, welche gleich oder kleiner als der Widerstandskoeffizient w sind, nicht theurer im Betriebe als horizontale Strecken. Steigungen, welche kleiner sind als w , werden deshalb unschädliche Steigungen genannt, im Gegensatze zu den schädlichen Steigungen, welche größer als w sind. Für den Güterverkehr sind also Steigungen bis zu 0,0036 unschädlich, für die Personenzüge aber bis zu 0,0055.

Die Annahme, daß in beiden Richtungen gleich große Lasten zu befördern sind, trifft für Eisenbahnen in den meisten Fällen annähernd zu, da das Gewicht der Lokomotiven und Wagen, welches unter allen Umständen in beiden Richtungen befördert werden muß, die größere Hälfte, ja beinahe $\frac{2}{3}$ der Gesamtlast bildet. Ist aber der Verkehr in einer Richtung größer als in der anderen, so sind alle in der Hauptrichtung des Verkehrs ansteigenden Strecken schädlich, alle in der Richtung des Hauptverkehrs fallenden Strecken aber nicht allein unschädlich, sondern sogar billiger im Betriebe, als die Hori-

zontale, so lange das Gefälle ein bestimmtes Maß nicht überschreitet.

Wie die Fälle eines in beiden Richtungen ungleichen Verkehrs zu behandeln sind, soll später (§ 14) gezeigt werden; zunächst soll, wie es hinreichend genau meistens vorkommt, ein in beiden Richtungen gleich großer Verkehr vorausgesetzt werden. Die Grenze der unschädlichen Steigungen, welche dann im Allgemeinen gleich dem Widerstandskoeffizienten ist, kann aber unter Umständen kleiner oder größer als dieser sein.

Auf Flachlandbahnen ist zuweilen die maßgebende Steigung kleiner als der Widerstandskoeffizient w , wodurch dann auch die Grenze der unschädlichen Steigungen auf diesen kleineren Werth sich ermäßigt.

In Kurven erhöht sich dagegen die Grenze der unschädlichen Steigungen. Ist c der Kurven-Widerstand, so wird die Zugkraft für die Bergfahrt:

$$Z_1 = (Q + L) (w + s + c)$$

und für die Thalfahrt, so lange noch nicht gebremst zu werden braucht:

$$Z_{11} = (Q + L) (w - s + c),$$

also im Durchschnitt für beide Richtungen zu:

$$Z = (Q + L) (w + c)$$

wie in horizontaler Strecke. Demnach übersteigt die Grenze der unschädlichen Steigungen in Kurven das Maß des Widerstandskoeffizienten um die Größe des Kurvenwiderstandskoeffizienten.

§ 10.

Die Betriebskosten der Strecke.

Die Betriebskosten sind mit Ausschluss aller für Aufnahme und Abgabe des Verkehrs aufzuwendenden Kosten, also nach Ausscheidung der Stations- und Expeditionskosten, zu ermitteln, so daß nur die Kosten der Beförderung auf der Strecke

in Rechnung kommen, und diese auch nur in der Gröfse, in welcher sie von der Verkehrsmenge abhängig sind, so daß die hiervon unabhängigen Kosten für Bahn-Unterhaltung und Aufsicht ebenfalls unberücksichtigt bleiben. Es kommen demnach nur die Kosten für den Fahrdienst und für den Zugförderungsdienst in Rechnung.

Die Kosten eines Lokomotiv-Km wurden in § 5 zu $B = B_0 + aZ$ bestimmt. Setzt man eine volle Ausnutzung der Lokomotivkraft voraus, so daß nach § 8 die Zugkraft $Z = zL$ wird, und bezeichnet die Kosten des Lokomotiv-Km für diesen Fall mit B_1 , setzt also $B_1 = B_0 + a z L$, so entstehen für einen Zug, dessen Gewicht ohne Lokomotive und Tender Q -Tonnen beträgt, auf gerader horizontaler Bahn für den Tonnen-Km die Betriebskosten:

$$k_0 = f + \frac{B_1}{Q}$$

wobei f die Fahrdienstkosten für den Tonnen-Km nach § 4 bezeichnet. Nach Einsetzung des Werthes für B_1 entsteht:

$$k_0 = f + \frac{B_0}{Q} + \frac{a z L}{Q}.$$

Da man aus der Gleichsetzung von Zugwiderstand und Zugkraft:

$$(Q + L) w = z L$$

die Gröfse des beförderten Zuggewichts zu:

$$Q = \frac{z - w}{w} L$$

erhält, so folgt nach Einsetzung derselben:

$$(Gl. 2) \quad k_0 = f + \frac{B_0}{L} \frac{w}{z - w} + \frac{a z w}{z - w}.$$

Von den drei Gliedern der rechten Seite giebt das erste die Fahrdienstkosten, das zweite die Kosten des Fahrdienstes der Lokomotive und das dritte die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive.

Setzt man für den Güterverkehr die früher (§ 4, 5 und 7) ermittelten Werthe $f = 0,15$, $B_0 = 32$, $a = 25$ und $w = 0,0036$ ein, nimmt man ferner das Gewicht einer Güterzugslokomotive zu $L = 60$ Tonnen an und den Zugkraftkoeffizienten $z = 0,05$, so folgt:

$$k_0 = 0,15 + 0,041 + 0,097 = 0,288 \text{ } \delta.$$

Nimmt man, entsprechend den auf dem preussischen Bahnnetze im Jahre 1885—86 vorgekommenen Betriebsverhältnissen, den Lade-Koeffizienten b , das heisst das Verhältniß der Rohlast, mit Ausschluß der Lokomotive und des Tenders, zur Nutzlast zu $2^{1/3}$ an, so ergeben sich die Betriebskosten auf gerader horizontaler Bahn für den Nutztonnen-Km zu $0,672 \text{ } \delta$.

Für den Personenverkehr ist $B_0 = 27$, $a = 25$, $w = 0,0055$, f für die Tonne der Personenzüge $= 0,405$, so daß bei einem Gewichte der Personenzugslokomotive von 54 Tonnen und einen Zugkraftkoeffizienten derselben von 0,02 die Betriebskosten für den Tonnen-Km der Personenzüge sind:

$$k_0 = 0,405 + 0,190 + 0,190 = 0,785 \text{ } \delta,$$

mithin unter der Berücksichtigung, daß $1^{1/3}$ Tonnen Zuglast auf eine Person entfallen, die Kosten für den Personen-Km auf gerader horizontaler Bahn gleich $1,047 \text{ } \delta$.

Für eine Flachlandbahn, deren maßgebende Steigung s ist, und auf welcher nur unschädliche Steigungen und Kurven, deren Widerstand $= c$ ist, vorkommen, ist die durchschnittlich erforderliche Zugkraft $(Q + L)(w + c)$. Die Kosten eines Lokomotiv-Km sind daher gleich $B_0 + a(Q + L)(w + c)$ und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer:

$$k_1 = f + es + \frac{B_0 + a(Q + L)(w + c)}{Q}$$

oder nach Einsetzung des Werthes:

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L.$$

$$(Gl. 3.) \quad k_1 = f + es + \frac{B_0}{L} \frac{(w + s)}{(z - w - s)} + \frac{azw}{z - w - s} + \frac{azc}{z - w - s}.$$

In dieser Gleichung giebt das erste Glied die Fahrdienstkosten, das zweite Glied die Bremserkosten, das dritte die Kosten des Fahrdienstes der Lokomotive, das vierte die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive in geraden Strecken und das fünfte Glied die Kosten der Mehrarbeit der Lokomotive in Kurven.

Kommen in einer Bahnlinie, deren maßgebende Steigung s ist und welche Kurven vom Widerstande c hat, schädliche Steigungen von der Gröfse s_1 vor, so sind die Lokomotivkosten für die Bergfahrt $B_0 + a(Q + L)(w + s_1 + c)$, dagegen für die Thalfahrt, bei welcher der Zug gebremst und ohne Zugkraftleistung der Lokomotive abwärts fährt $= B_0$, daher im Durchschnitt für beide Richtungen $B_0 + \frac{a}{2}(Q + L)(w + s_1 + c)$.

Die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer sind daher:

$$k_{11} = f + es + \frac{B_0 + \frac{1}{2} a (Q + L) (w + s_1 + c)}{Q}$$

oder nach Einsetzung des Werthes $Q = \frac{(w + s) L}{z - w - s}$.

$$(Gl. 4.) \quad k_{11} = f + es + \frac{B_0}{L} \frac{(w + s)}{(z - w - s)} + \frac{az}{z - w - s} \cdot \frac{w + s_1}{2} + \frac{az}{z - w - s} \cdot \frac{c}{2}.$$

Eine Vergleichung dieser Formel mit derjenigen für die Betriebskosten auf unschädlichen Steigungen zeigt die bemerkenswerthe Thatsache, daß die durch Kurven entstehende Vermehrung der Betriebskosten in schädlichen Steigungen nur halb so groß ist als in unschädlichen Steigungen. Diese Thatsache wird man übrigens auch ohne jede Rechnung erkennen, wenn man be-

denkt, daß die Kurven in unschädlichen Steigungen in beiden Fahrrichtungen vermehrten Dampfverbrauch veranlassen, dagegen in schädlichen Steigungen nur bei der Bergfahrt.

§ 11.

Gleichwerthige Steigung.

Aus den entwickelten Formeln für die Betriebskosten des Tonnen-Kilometers auf verschiedenen Steigungen lassen sich leicht die Betriebskosten für eine ganze Bahnlinie bestimmen.

Die Fahrdienstkosten, die Bremserkosten und die Kosten für den Fahrdienst der Lokomotive sind für Strecken mit schädlichen und unschädlichen Steigungen, für gerade Linien und Kurven die gleichen; sie wachsen lediglich mit der Länge der Bahnlinie und sind für eine Linie von l Km Länge für den Uebergang einer Tonne:

$$K_0 = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)} \right\} l.$$

Die Kosten, welche die Arbeitsleistung der Lokomotive auf geraden Strecken mit unschädlicher Steigung verursacht, sind überall wie auf horizontaler Bahn, also wenn l_0 die Länge aller Strecken mit unschädlicher Steigung bezeichnet, gleich:

$$K_1 = \frac{az}{z - w - s} w l_0.$$

Die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive auf einer schädlichen Steigung von der Länge l_{11} und dem Steigungsverhältniß s_1 sind für den Uebergang einer Tonne Rohlast:

$$k_{11} = \frac{az}{z - w - s} (1/2 w l_{11} + 1/2 s_1 l_{11}).$$

Da $s_1 l_{11}$ gleich der durch die Steigung s_1 auf die Länge l_{11} erstiegenen Höhe ist, welche mit h_1 bezeichnet werden möge, so kann man auch schreiben:

$$k_{11} = \frac{az}{z - w - s} \left(\frac{1}{2} w l_1 + \frac{1}{2} h_1 \right).$$

Ist nun l_1 die Gesamtlänge aller in schädlicher Steigung liegenden Strecken und h die Gesamthöhe, welche durch alle diese schädlichen Steigungen erstiegen wird, ebenfalls in Kilometern ausgedrückt, so sind die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive für den Uebergang einer Tonne Rohlast auf allen schädlichen Steigungen:

$$K_{11} = \frac{az}{z - w - s} \left(\frac{1}{2} w l_1 + \frac{1}{2} h \right).$$

Der Kurvenwiderstand $c\lambda$ für eine Kurve von der Länge λ und dem Centriwinkel α ist nach § 7 für den Uebergang einer Tonne Last $= 0,000018 \alpha$. In unschädlicher Steigung sind daher die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive, welche durch eine Kurve vom Widerstande c und der Länge λ hervorgerufen werden:

$$k_{111} = \frac{az}{z - w - s} c\lambda$$

oder

$$k_{111} = \frac{az}{z - w - s} \cdot 0,000018 \alpha.$$

während die Kosten nur halb so groß sein würden, wenn die Kurve in schädlicher Steigung läge.

Ist nun die Summe der Centriwinkel aller Kurven in unschädlicher Steigung $= \alpha_0$ und die Summe der Centriwinkel aller Kurven in schädlicher Steigung $= \alpha_1$, so sind die Kosten der Arbeitsleistung der Lokomotive, welche sämtliche Kurven der Bahnlinie zusammen verursachen:

$$K_{111} = \frac{az}{z - w - s} \cdot 0,000018 (\alpha_0 + \frac{1}{2} \alpha_1).$$

Man erhält hiernach die Betriebskosten für den Uebergang einer Tonne Rohlast über die Bahnlinie von der

Länge $l = l_0 + l_1$ bei der maßgebenden Steigung s zu
 $K = K_0 + K_1 + K_{11} + K_{111}$ oder zu:

$$K = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)} \right\} l + \frac{az}{z - w - s} \left\{ wl_0 + \frac{1}{2} wl_1 \right. \\ \left. + \frac{1}{2} h + 0,000018 (\alpha_0 + \frac{1}{2} \alpha_1) \right\}$$

Zur Vereinfachung dieser Formel wurde der Klammer-Ausdruck des letzten Gliedes von mir Trafsirungsmodul genannt und mit p bezeichnet, so daß entsteht:

$$(\text{Gl. 5. . } K = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)} \right\} l + \frac{azp}{z - w - s})$$

Baumeister und Schübler, welche die von mir hergeleitete Formel in den bereits erwähnten Schriften zu anderen Untersuchungen benutzten, haben zur Vereinfachung der Form dieser Gleichung andere Vorschläge gemacht, indem der erstere aus dem Klammer-Ausdrucke des letzten Gliedes der Gleichung den mittleren Zugwiderstand m ableitete, also

$$ml = wl_0 + \frac{1}{2} wl_1 + \frac{1}{2} h + 0,000018 (\alpha_0 + \frac{1}{2} \alpha_1)$$

mithin

$$K = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s) + azmL}{L (z - w - s)} \right\} l.$$

setzte, wogegen Schübler eine einheitliche geradlinige Steigung s_{11} für die ganze Bahnlinie ermittelte, welche die gleichen Betriebskosten wie die wechselnd gestaltete Traße erforderte. Diese einheitliche gradlinige Steigung, welche Schübler die stellvertretende Steigung nannte, welche ich aber gleichwerthige Steigung nenne, ergibt sich aus der Gleichung:

$$\frac{1}{2} wl + \frac{1}{2} s_{11} l = wl_0 + \frac{1}{2} wl_1 + \frac{1}{2} h + 0,000018 (\alpha_0 + \frac{1}{2} \alpha_1)$$

zu:

$$(\text{Gl. 6) } s_{11} = \frac{1}{l} \left\{ wl_0 + h + 0,000018 (2 \alpha_0 + \alpha_1) \right\}$$

oder

$$s_{11} = \frac{l}{\lambda} (w \lambda_0 + h + 2 c \lambda_0 + c \lambda_1)$$

wenn λ_0 die Gesamtlänge der Kurven in unschädlicher und λ_1 in schädlicher Steigung ist.

Die gleichwerthige Steigung findet man also, indem man annimmt, daß durch die ganze Bahnlänge l eine Höhe erstiegen wird, welche gleich der Höhe h ist, die durch alle schädlichen Steigungen erreicht wird, unter Hinzufügung einer Höhe $w \lambda_0$, welche durch alle unschädlichen Steigungen erreicht werden würde, wenn dieselben das Steigungsverhältniß w hätten, und unter weiterer Hinzufügung des doppelten Widerstandes aller Kurven in unschädlicher Steigung und des einfachen Widerstandes aller Kurven in schädlicher Steigung.

Durch Einführung der gleichwerthigen Steigung s_{11} erhält man die Kosten für den Uebergang einer Tonne Rohlast über die ganze Bahnlinie zu:

$$(Gl. 7) \quad K = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s) + \frac{1}{2} az L (w + s_{11})}{L (z - w - s)} \right\} l.$$

Es ist zu beachten, daß die maßgebende Steigung, welche auf der rechnungsmäßig zu Grunde gelegten Linie mit gleichwerthiger Steigung nicht mehr vorkommt, dennoch für die Belastung der Züge als bestimmend anzunehmen bleibt.

Es ist ferner hervorzuheben, daß die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr eine andere als für den Personenverkehr ist; wie an dem folgenden Beispiele erläutert werden möge.

Eine Bahnlinie von 100 Km Länge enthält 50 Km mit Steigungen unter 0,0036, 30 Km mit Steigungen zwischen 0,0036 und 0,0055 mit einer Gesamtsteighöhe von 0,14 Km und 20 Km mit Steigungen über 0,0055 und einer Gesamtsteighöhe von 0,26 Km. In der ersten Gruppe von Steigungen kommen Kurven vor von insgesamt 1000^0 Centriwinkel.

in der zweiten Gruppe der Steigungen Kurven von 900^0 Centriwinkel und in der dritten Gruppe der Steigungen Kurven von 600^0 Centriwinkel.

Für den Güterverkehr ist $w = 0,0036$, $l_0 = 50$, $l_1 = 50$, $h = 0,4$, $\alpha_0 = 1000$, $\alpha_1 = 1500$, also:

$$s_{11} = \frac{1}{100} \left\{ 0,0036 \cdot 50 + 0,4 + 0,000018 (2 \cdot 1000 + 1500) \right\} \\ = 0,00643.$$

Für den Personenverkehr ist $w = 0,0055$, $l_0 = 80$, $l_1 = 20$, $h = 0,26$, $\alpha_0 = 1900$, $\alpha_1 = 600$, also:

$$s_{11} = \frac{1}{100} \left\{ 0,0055 \cdot 80 + 0,26 + 0,000018 (2 \cdot 1900 + 600) \right\} \\ = 0,00779.$$

§ 12.

Bestimmung des Zugkrafts-Koeffizienten.

Mit der durch Kuppelung der Achsen erreichbaren Steigerung der Zugkraft der Lokomotiven kann man das Zuggewicht vermehren, dadurch die von der Zugkraftleistung unabhängigen Kosten der Lokomotive auf eine größere Anzahl von Einheiten vertheilen und dementsprechend die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer verringern.

Bei dem durchschnittlichen Gewicht der Güterzuglokomotiven von 60 Tonnen, einschliesslich des Tenders, ist das auf einer Steigung von 0,0036 fortzuschaffende Zuggewicht:

$$Q = \frac{z - 0,0036 - 0,0036}{0,0036 + 0,0036} 60$$

oder

$$Q = 8333 z - 60 \text{ Tonnen.}$$

Hat die Lokomotive 0,006 L Pferdestärken oder $75 \cdot 0,006 \cdot L = 0,45 L$ Meter-Kilogramm Arbeitsleistung, so ist die bei einer Zugkraft von $z L$ Kilogramm mögliche Geschwindigkeit in Metern in der Sekunde:

$$v = \frac{0,45}{z}.$$

Die Betriebskosten auf einer Flachlandbahn, welche keine schädliche Steigungen hat, sind nach Gleichung 3 für den Tonnen-Kilometer der Rohlast:

$$k = 0,15 + 2 \cdot 0,0036 + \frac{32 (0,0036 + 0,0036)}{60 (z - 0,0036 - 0,0036)} + \frac{25 \cdot z \cdot 0,0036}{z - 0,0036 - 0,0036}$$

oder

$$k = 0,157 + \frac{0,00384 + 0,09 z}{z - 0,0072} \delta.$$

Für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten erhält man hiernach die in der Tabelle III angegebenen Zuggewichte, Fahrgeschwindigkeiten und Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast.

Tabelle III.

Gröfse des Zuggewichts, der Fahrgeschwindigkeit und der Betriebskosten des Güterverkehrs auf Flachlandbahnen für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten.

Anzahl der gekuppelten Triebachsen der Lokomotive. .	1	2			3		
Gröfse des Zugkraftskoeffizienten	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Gewicht des Zuges Q in Tonnen	190	273	357	440	523	607	690
Fahrgeschwindigkeit v in Metern in der Sekunde. . .	15,0	11,25	9,0	7,5	6,4	5,6	5,0
Betriebskosten f. den Tonnen-Km der Rohlast in Pfennigen	0,444	0,384	0,352	0,332	0,319	0,309	0,361

In der Formel, nach welcher die in dieser Tabelle enthaltenen Betriebskosten berechnet wurden, ist nicht be-

rücksichtigt, daß die schädlichen Reibungswiderstände der Maschinentheile und die Unterhaltungskosten der Lokomotive mit der Anzahl der gekuppelten Treibachsen zunehmen, ferner ist nicht berücksichtigt, daß mit der Zunahme des Zuggewichts und der damit verbundenen Vergrößerung der Länge der Züge die Kosten der Wagenverschiebung und durch die erforderliche größere Länge der Nebengleise auch die Anlagekosten der Bahnhöfe wachsen; endlich ist unberücksichtigt geblieben, daß mit der durch die größere Zugkraftsleistung nöthig werdenden Verminderung der Fahrgeschwindigkeit die auf den Kilometer entfallenden Kosten des Zugpersonals und der Zinsen des Anschaffungskapitals der Lokomotiven und Wagen größer werden. Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände würden die Betriebskosten mit der Vergrößerung des Zugkraftskoeffizienten weniger rasch abnehmen als die Tabelle zeigt und bald eine untere Grenze erreichen, von welcher ab sie bei weiterer Vergrößerung des Zugkraftskoeffizienten sogar zunehmen würden. In Würdigung dieser Umstände wird man auf Flachlandbahnen in der Regel die Güterzugslokomotiven mit nicht mehr als zwei gekuppelten Achsen versehen, so daß der Zugkraftskoeffizient zwischen 0,05 und 0,06 bleibt.

Für eine Gebirgsbahn, deren Steigung = 0,025 ist, erhält man bei einem Lokomotivgewichte von 60 Tonnen und bei einem Zugkraftskoeffizienten z das Zuggewicht zu:

$$Q = \frac{z - 0,025 - 0,0036}{0,025 + 0,0036} 60 = 2098 z - 60$$

und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast nach Gleichung 4 zu:

$$k = 0,15 + 2 \cdot 0,025 + \frac{32 (0,0036 + 0,025)}{60 (z - 0,0036 - 0,025)} + \frac{1/2 \cdot 25 \cdot z \cdot (0,0036 + 0,025)}{z - 0,0036 - 0,025}$$

oder

$$k = 0,2 + \frac{0,01526 + 0,3575 z}{z - 0,0286} \delta.$$

Die folgende Tabelle IV giebt die Gröſsen des Zuggewichts, der Fahrgeschwindigkeit und der Betriebskosten für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten.

Tabelle IV.

Gröſse des Zuggewichts, der Fahrgeschwindigkeit und der Betriebskosten des Güterverkehrs auf Gebirgsbahnen mit 0,025 Steigung für verschiedene Werthe des Widerstandskoeffizienten.

Anzahl der gekuppelten Triebachsen der Lokomotive . .	2	3			4		
Gröſse des Zugkraftskoeffizienten	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
Gewicht des Zuges Q in Tonnen	66	87	108	129	150	171	192
Fahrgeschwindigkeit v in Metern in der Sekunde. . .	7,5	6,4	5,6	5,0	4,5	4,1	3,75
Betriebskosten f. den Tonnen-Km der Rohlast in Pfennigen	1,419	1,174	1,053	0,973	0,914	0,871	0,846

Aus den früher erörterten Gründen werden die Betriebskosten mit zunehmender Gröſse des Zugkraftskoeffizienten nicht ganz in dem Maße abnehmen, wie die Tabelle es angiebt. Man wird besonders, um nicht zu einer unzweckmäſsig geringen Geschwindigkeit zu gelangen, den Zugkraftskoeffizienten auf eine Gebirgsbahn von 0,025 Steigung für die Güterzugslokomotive zu etwa 0,10 annehmen.

Der Zugkraftskoeffizient muß nach den vorstehenden Rechnungen und Betrachtungen mit der Gröſse der maß-

gebenden Steigung zunehmen und kann nach allen Erwägungen für Güterzugs-Lokomotiven zutreffend zu

$$z = 0,05 + 2s$$

festgesetzt werden.

Auf Gebirgsbahnen wird das Lokomotivgewicht für Güterzüge wohl über das mittlere Maß von 60 Tonnen gesteigert, um stärkere Züge befördern zu können. Die Betriebskosten werden dadurch keine in Betracht kommende Verringerung erfahren und die für deren Berechnung benutzte Formel wird zutreffend bleiben, da die von der Arbeitsleistung der Lokomotive unabhängigen Kosten B_0 nahezu in dem gleichen Maße wie das Lokomotivgewicht L wachsen.

Für den Werth des Zugkraftskoeffizienten $z = 0,05 + 2s$ ist das Zuggewicht der Güterzüge auf einer Bahn mit der maßgebenden Steigung s :

$$Q = \frac{0,0464 + s}{0,0036 + s} \cdot 60$$

und die äußerste Geschwindigkeit auf der Bergfahrt:

$$v = \frac{0,45}{0,05 + 2s}$$

nach welchen Formeln die Angaben der Tabelle V berechnet sind.

Tabelle V.

Gewicht und Geschwindigkeit der Güterzüge.

Maßgebende Steigung s der Bahn . .	0,0036	0,006	0,010	0,015	0,025
Gewicht des Zuges Q	417	327	249	198	150
Geschwindigkeit auf der Bergfahrt in Metern und in der Sekunde . . .	8,0	7,2	6,4	5,6	4,5

Für die Personenzüge werden leichtere Lokomotiven von durchschnittlich 54 Tonnen Gewicht, einschließlic des Tenders, und mit kleineren Zugkraftskoeffizienten als für die Güterzüge verwendet.

Für eine Bahn, deren maßgebende Steigung gleich dem Widerstandskoeffizienten der Personenzüge, also = 0,0055 ist, erhält man bei einem Zugkraftskoeffizienten z das mögliche Zuggewicht zu:

$$Q = \frac{z - 0,0055 - 0,0055}{0,0055 + 0,0055} 54$$

mithin

$$Q = 491 z - 54.$$

Die Betriebskosten für die Tonne der Personenzüge sind nach Gleichung 3:

$$k = 0,405 + \frac{27 (0,0055 + 0,0055)}{54 (z - 0,0055 - 0,0055)} + \frac{25 \cdot z \cdot 0,0055}{z - 0,0055 - 0,0055}$$

also

$$k = 0,405 + \frac{0,0055 + 0,1375 z}{z - 0,011}.$$

Die Fahrgeschwindigkeit ist, wenn die Pferdestärke der Lokomotive = $0,006 \cdot L$ gesetzt wird, wie für die Güterzüge:

$$v = \frac{0,45}{z}.$$

In Tabelle VI sind die Zuggewichte, Geschwindigkeiten und Betriebskosten für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten zusammengestellt.

Tabelle VI.

Zuggewichte, Fahrgeschwindigkeiten und Betriebskosten für die Tonne der Personenzüge auf einer Bahn, deren maßgebende Steigung = 0,0055 ist.

Anzahl der gekuppelten Triebachs.	2		3		
Größe des Zugkraftskoeffizienten	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
Gewicht des Zuges in Tonnen .	44	93	142	191	241
Außerste Fahrgeschwindigkeit b. d. Bergfahrt in Met. in d. Sekunde	22,5	15,0	11,3	9,0	7,5
Betriebskosten für die Tonne Zuggewicht in Pfennigen . .	1,321	0,968	0,784	0,717	0,685

Da bei Personenzügen nicht die Fortschaffung eines großen Zuggewichtes, sondern die Einhaltung einer großen Fahrgeschwindigkeit erforderlich ist, so wird man auf einer Bahn von dem angenommenen Steigungsverhältnisse den Zugkraftskoeffizienten nur zu einer GröÙe von etwa 0,03 annehmen haben. Man könnte daher mit einer Triebachse auskommen, wird aber doch in der Regel, um ein rascheres Anfahren der Züge möglich zu machen, zweifach-gekuppelte Maschinen verwenden.

Für eine Gebirgsbahn mit der maßgebenden Steigung 0,025 ist das Zuggewicht des Personenzuges:

$$Q = 177 z - 54$$

und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge sind:

$$k = 0,405 + \frac{0,01525 + 0,38125 z}{z - 0,0305}.$$

In Tabelle VII sind die Zuggewichte, die Geschwindigkeiten bei der Bergfahrt und die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten zusammengestellt.

Tabelle VII.

Zuggewichte, Geschwindigkeiten und Betriebskosten der Personenzüge auf einer Gebirgsbahn von 0,025 Steigung.

Anzahl der gekuppelten Triebachs.	2		3		
GröÙe des Zugkraftskoeffizienten	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
Zuggewicht in Tonnen . . .	34	52	70	87	105
Geschwindigkeit auf der Bergfahrt in Metern und in der Sekunde	9,0	7,5	6,4	5,6	5,0
Betriebskosten für den Tonnen- Km d. Personenzüge in Pfennig.	2,165	1,698	1,467	1,329	1,238

Um das Zuggewicht nicht zu gering zu erhalten, aber auch die Geschwindigkeit nicht zu sehr ermäßigen zu müssen, wird man für die Gebirgsbahn von 0,025 Steigung den Zugkraftskoeffizienten zu etwa 0,07 annehmen.

Allgemein ist nach der vorstehenden Rechnung der Zugkraftskoeffizient für Personenzüge anzunehmen zu:

$$z = 0,02 + 2s$$

wonach das Gewicht der Personenzüge:

$$Q = \frac{0,0145 + s}{0,0055 + s} 54$$

und die äußerste Geschwindigkeit auf der Bergfahrt:

$$v = \frac{0,45}{0,02 + 2s}$$

ist. Hiernach sind die Werthe der Tabelle VIII berechnet.

Tabelle VIII.

Gewicht und Geschwindigkeit der Personenzüge.

Mafsgebend. Steigung s der Bahn	0,0036	0,006	0,010	0,015	0,025
Gewicht des Zuges Q . . .	107	96	85	78	70
Erreichbare Geschwindigkeit v auf der Bergfahrt in Metern in der Sekunde	16,5	14,1	11,3	9,0	6,4

§ 13.

Näherungsformeln für die Berechnung der Betriebskosten und Kosten des Zug-Kilometers.

Setzt man den für den Zugkraftskoeffizienten der Güterzugs-Lokomotiven gefundenen Werth $z = 0,05 + 2s$ in die, für die Betriebskosten des Tonnen-Kilometers der Rohlast der

Güterzüge entwickelte Gleichung 4 ein, setzt in dieser Gleichung ferner $f = 0,15$, $e = 2$, $B_0 = 32$, $a = 25$, $L = 60$ und $w = 0,0036$, so erhält man:

$$k=0,15+2s+\frac{0,00417+0,6233s+0,625(s_1+c)+25s(s_1+c)}{0,0464+s}$$

Zur Bestimmung der Betriebskosten auf unschädlichen Steigungen ist in dieser Formel $s_1 + c = w = 0,0036$ zu setzen. Die Zahlen der Tabelle IX sind nach dieser Formel berechnet.

Tabelle IX.

Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge in Pfennigen für verschiedene Steigungsverhältnisse.

Maßgebende Steigung s	Betriebskosten f. d. Tonnen-Km				
	auf un- schäd- l. Steig. s_0	auf schädlichen Steigungen und in Krümmungen $s_1 + c =$			
		0,006	0,010	0,015	0,025
1 : ∞	0,288	—	—	—	—
0,0036	0,337	—	—	—	—
0,006	0,366	0,402	—	—	—
0,010	0,410	0,447	0,509	—	—
0,015	0,458	0,498	0,563	0,644	—
0,025	0,539	0,581	0,651	0,739	0,914

Die Tabelle IX läßt erkennen, daß die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge sich mit einem befriedigenden Grade von Genauigkeit durch die einfache Näherungsformel

Gl. 8.) . . . $k = 0,24 + 10s + 17(s_1 + c)$

ausdrücken lassen, wobei für unschädliche Steigungen wieder $s_1 + c = w = 0,0036$ gesetzt werden muß. Läßt man die

Betriebskosten auf einer in ganzer Länge horizontalen und geraden Bahn außer Betracht, welche ja praktisch keine Bedeutung haben, so bleibt der grösste Fehler, welcher bei Benutzung der Näherungsformel bei Steigungen bis zu 0,025 entsteht, unter 2 Proz. Für die Betriebskosten auf der maßgebenden Steigung, also für $s_1 + c = s$ giebt die Gleichung 8 sogar eine Uebereinstimmung in voller Schärfe mit den Werthen der Tabelle IX.

Für den Personenverkehr wird durch Einsetzung des Zugkraftskoeffizienten der Personenzugs-Lokomotive $z = 0,02 + 2s$, sowie für $f = 0,405$, $B_0 = 27$, $a = 25$, $L = 54$ und $w = 0,0055$ aus Gleich. 4 erhalten:

$$k = 0,405 + \frac{0,004125 + 0,6375s + 0,25(s_1 + c) + 25s(s_1 + c)}{0,0145 + s}.$$

Nach dieser Gleichung sind die Zahlen der Tabelle X berechnet, wobei für unschädliche Steigungen $s_1 + c = w = 0,0055$ einzusetzen ist.

Tabelle X.

Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge in Pfennigen für verschiedene Steigungsverhältnisse.

Maßgebende Steigung s	Betriebskosten f. d. Tonnen-Km			
	auf un- schädlich. Steigung. s_0	auf schädlich. Steigungen u. in Krümmungen $s_1 + c =$		
		0,010	0,015	0,025
1 : ∞	0,784	—	—	—
0,0055	0,893	—	—	—
0,010	0,945	1,037	—	—
0,015	0,986	1,081	1,187	—
0,025	1,035	1,135	1,246	1,468

Die Zahlen der Tabelle X zeigen, daß die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge mit einem be-

friedigenden Grade von Genauigkeit durch die einfache Näherungsformel:

$$(G. 9.) \quad . \quad . \quad . \quad k = 0,73 + 8s + 22(s_1 + c)$$

berechnet werden können, wobei für unschädliche Steigungen $s_1 + c = w = 0,0055$ einzusetzen ist. Der grösste Fehler, welcher bei Berechnung nach dieser Näherungsformel gemacht wird, bleibt unter $1\frac{1}{2}$ Proz.

Auf den preussischen Staatsbahnen war im Betriebsjahre 1885—86, wie schon früher angegeben, das Verhältniß der unter Ausschluss der Lokomotive und des Tenders bestimmten Rohlast zur Nutzlast, das ist der Ladungskoeffizient b , für den Güterverkehr $= 2\frac{1}{3}$, so daß die Betriebskosten für den Nutzentonnen-Kilometer betragen;

$$(Gl. 10.) \quad . \quad . \quad k = 0,56 + 23\frac{1}{3}s + 39\frac{2}{3}(s_1 + c).$$

Bei Beförderung einer Person wurden $1\frac{1}{3}$ Tonnen Rohlast fortgeschafft, so daß die Betriebskosten für den Personen-Kilometer sich ergeben zu:

$$(Gl. 11.) \quad . \quad . \quad k = 0,973 + 10\frac{2}{3}s + 29\frac{1}{3}(s_1 + c).$$

Die Zahlen der Tabellen IX und X ergeben durch Multiplikation mit den Zug-Gewichten die Kosten eines Zug-Kilometers. Setzt man in die Gleichung, welche das Zuggewicht in Abhängigkeit von dem Zugkraftskoeffizienten und von der maßgebenden Steigung ausdrückt,

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L$$

den Werth des Zugkraftskoeffizienten $z = 0,05 + 2s$, ferner $w = 0,0036$ und $L = 60$, so erhält man das Gewicht des Güterzuges zu:

$$Q = \frac{0,0464 + s}{0,0036 + s} 60 \text{ Tonnen}$$

und für $z = 0,02 + 2s$, $w = 0,0055$ und $L = 54$ das Gewicht der Personenzüge zu:

$$Q = \frac{0,0145 + s}{0,0055 + s} 54 \text{ Tonnen.}$$

Unter Benutzung der nach diesen Formeln sich ergebenden Zuggewichte sind die Zahlen der Tabellen XI und XII berechnet.

Tabelle XI.

Kosten eines Güterzug-Kilometers in Pfennigen.

Mafs- gebende Steigung s	Zug- gewicht in Tonnen Q	Kosten des Güterzug-Km				
		auf un- schädlicher Steigung s_0	auf schädlichen Steigungen und in Krümmungen $s_1 + c =$			
			0,006	0,010	0,015	0,025
1 : ∞	773	223	—	—	—	—
0,0036	437	140	—	—	—	—
0,006	328	120	138	—	—	—
0,010	249	102	111	126	—	—
0,015	198	91	99	112	128	—
0,025	150	81	87	98	111	137

Tabelle XII.

Kosten eines Personenzug-Kilometers in Pfennigen.

Mafs- gebende Steigung s	Zug- gewicht in Tonnen Q	Kosten des Personenzug-Km			
		auf un- schädlicher Steigung s_0	auf schädli. Steigungen u. in Krümmungen $s_1 + c =$		
			0,010	0,015	0,025
1 : ∞	142	111	—	—	—
0,0055	98	87	—	—	—
0,010	85	80	88	—	—
0,015	78	76	84	92	—
0,025	70	72	79	87	102

Es muß daran erinnert werden, daß die in den Tabellen IX bis XII und in den Gleichungen 8 bis 10 gegebenen

Kosten des Tonnen-, Personen- und Zug-Kilometers stets, wie es für die Aufgaben des Trafsirens erforderlich ist, nur die eigentlichen Betriebskosten der Strecke unter Ausschluss der Bahnunterhaltungs- und der Bahnhofskosten sind und daher nicht unerheblich niedriger als die sonst gewöhnlich unter Einschluss der letzteren Kosten mitgetheilten Angaben über die Betriebskosten erscheinen.

Eine Vergleichung der Kosten der Güter- und Personenzüge zeigt, daß auf vollständig horizontaler und gerader Bahn ein Güterzug doppelt so theuer als ein Personenzug sein würde, dagegen auf Flachlandbahnen nur $1\frac{1}{2}$ mal und auf Gebirgsbahnen von 0,025 Steigung nur $1\frac{1}{3}$ mal so theuer als ein Personenzug ist.

Die Lokomotiven, welche bei den Kosten-Berechnungen stets zu einem Gewichte von 60 Tonnen für den Güterverkehr und von 54 Tonnen für den Personenverkehr angenommen wurden, werden auf Gebirgsbahnen häufig schwerer gewählt. Die Kosten für den Tonnen- oder Personen-Kilometer werden hierdurch aber nur in ganz unerheblichem Maße oder gar nicht verringert, da die Fahrdienstkosten und die von der Arbeitsleistung der Lokomotiven abhängigen Kosten für den Tonnen- oder Personen-Kilometer die gleichen bleiben und die von der Arbeitsleistung der Lokomotive unabhängigen Kosten nahezu proportional mit dem Lokomotivgewichte wachsen, so

daß auch $\frac{B_0}{L}$ für verschiedene Lokomotivgewichte gleiche Größe

behält. Auch wenn, wie auf Lokalbahnen geschieht, das Gewicht der Lokomotive kleiner angenommen wird, bleiben die unter Zugrundelegung eines Lokomotivgewichtes von 60 oder bezw. 54 Tonnen berechneten Betriebskosten für den Tonnen- und Personen-Kilometer nahezu die gleichen. Man hätte das Lokomotivgewicht auch ganz aus den Formeln für die Be-

triebskosten verschwinden lassen können, wenn man den unveränderlich bleibenden Betrag $\frac{B_0}{L} = b_0$ gesetzt hätte. Die Kosten des Zug-Kilometers wachsen dagegen nahezu im gleichem Verhältnisse mit dem Lokomotivgewichte. Da aber die Betriebskosten bei den Aufgaben des Trafsirens nicht nach der Zahl der Zug-Kilometer, sondern zweckmäßiger nach der Zahl der Tonnen- und Personen-Kilometer berechnet werden, so ist es zulässig, für alle Fälle das gleiche Lokomotivgewicht von 60 Tonnen für den Güterverkehr und von 54 Tonnen für den Personenverkehr bei den Rechnungen zu Grunde zu legen. Wenn die Zahl der Zug-Kilometer ein Mal in Rechnung kommt, wird man bei abweichendem Gewichte der Lokomotive, beispielsweise bei 72 Tonnen einen solchen Zug als $\frac{72}{60} = 1,2$ Güterzüge in Rechnung stellen oder beziehungsweise als $\frac{72}{54} = 1,33$ Personenzüge.

§ 14.

Berechnung der Betriebskosten für den Fall, daß der Verkehr in beiden Richtungen nicht gleich groß ist.

Ueberwiegt der Verkehr in einer Richtung, welche aus diesem Grunde die Hauptrichtung genannt werden soll, so ist die Belastung der Züge in dieser Richtung stärker anzunehmen als in der entgegengesetzten, weil wegen der Rückfahrt der Lokomotiven und Wagen die Zahl der Züge in beiden Richtungen die gleiche sein muß.

Ist der Nutzlastenverkehr in der Hauptrichtung gleich T_1 , die Belastung eines Zuges durch die Nutzlast in dieser Richtung gleich Q_1 , die Rohlast eines Zuges $b Q_1$, so folgt für die Nebenrichtung, deren Nutzlastenverkehr T_2 und in welcher

die Nutzlast des Zuges $Q_{,,}$ ist, die Rohlast eines Zuges gleich $(b - 1) Q_{,} + Q_{,,}$. Setzt man $T_{,,} = r T_{,}$, also auch $Q_{,,} = r Q_{,}$, so ist die Rohlast eines Zuges in der Nebenrichtung gleich $(b + r - 1) Q_{,}$.

Liegt die maßgebende Steigung in der Hauptrichtung, so ist:

$$b Q_{,} = \frac{z - w - s}{w + s} L.$$

Es kann dann in der Nebenrichtung eine steilere Steigung s_1 vorkommen, deren Grenzwert durch die Gleichung:

$$(b + r - 1) Q_{,} = \frac{z - w - s_1}{w + s_1} L$$

zu:

$$(\text{Gl. 12.}) \quad s_1 = \frac{z b s + (1 - r) (z - w - s) w}{z b - (1 - r) (z - w - s)}$$

bestimmt wird.

Ist beispielsweise $b = 2^{1/3}$, $z = 0,09$, $s = 0,02$ und $w = 0,0036$, so kann in der Nebenrichtung eine Steigung vorkommen:

$$\text{für } r = 3/4 \quad s_1 = 0,0218$$

$$,, \quad r = 1/2 \quad s_1 = 0,0244$$

$$,, \quad r = 1/4 \quad s_1 = 0,0273$$

$$,, \quad r = 0 \quad s_1 = 0,0309.$$

Kommt aber in der Nebenrichtung eine steilere, als die nach Gleichung 12 berechnete Steigung vor, so wird diese zur maßgebenden Steigung.

Liegt die maßgebende Steigung in der Hauptrichtung, so ist die Summe der in beiden Richtungen jährlich zu befördernden Züge:

$$n = 2 \frac{T_1}{Q_1} = \frac{2 b T_1 (w + s)}{L (z - w - s)}$$

oder wenn der Gesamtverkehr $T_1 + r T_1 = T$ und daher

$T_1 = \frac{T}{1 + r}$ gesetzt wird:

$$(Gl. 13.) \quad n = \frac{2 b T}{1 + r} \cdot \frac{(w + s)}{L (z - w - s)}.$$

Liegt dagegen die maßgebende Steigung in der Nebenrichtung, in welchem Falle aus:

$$(b + r - 1) Q_1 = \frac{z - w - s}{w + s} L$$

entsteht:

$$Q_1 = \frac{1}{b + r - 1} \cdot \frac{(z - w - s) L}{w + s}$$

so wird die Zahl der Züge im Jahre:

$$(Gl. 14.) \quad n_1 = 2 \frac{(b + r - 1) T}{1 + r} \frac{w + s}{(z - w - s) L}.$$

Die Betriebskosten sollen zunächst für den Fall ermittelt werden, daß die maßgebende Steigung in der Hauptrichtung des Verkehrs liegt. Die verschieden geneigten Strecken der Bahn sind dabei für die Berechnung der Lokomotivkosten in vier Gruppen zu zerlegen.

1) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt nicht gebremst zu werden braucht und welche in der Hauptrichtung des Verkehrs ansteigen, von der Gesamtlänge l_0 , der Gesamtsteigung h_0 und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_0 Grad beträgt.

Die Lokomotivkosten auf diesen Strecken für einen Zug in der Hauptrichtung sind:

$$B_0 l_0 + a (b Q_1 + L) (w l_0 + h_0 + 0,000018 \alpha_0)$$

oder da $(b Q_1 + L) (w + s) = z L$ sein muß:

$$B_0 l_0 + \frac{a z L}{w + s} (w l_0 + h_0 + 0,000018 \alpha_0)$$

wogegen die Lokomotivkosten für einen Zug in der Nebenrichtung sind:

$B_0 l_0 + a \{ (b + r - 1) Q_1 + L \} (w l_0 - h_0 + 0,000018 \alpha_0)$
oder

$$B_0 l_0 + a (b Q_1 + L) (w l_0 - h_0 + 0,000018 \alpha_0) \\ - a (1 - r) Q_1 (w l_0 - h_0 + 0,000018 \alpha_0)$$

woraus nach Einsetzung des Werthes für $Q_1 = \frac{z - w - s}{b (w + s)} L$ entsteht:

$$B_0 l_0 + \frac{a z L}{w + s} (w l_0 - h_0 + 0,000018 \alpha_0) \\ - (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} \cdot (w l_0 - h_0 + 0,000018 \alpha_0).$$

Demnach sind die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in beiden Richtungen:

$$2 B_0 l_0 + \frac{2 a z L}{w + s} (w l_0 + 0,000018 \alpha_0) - (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} \cdot (w l_0 - h_0 + 0,000018 \alpha_0).$$

2) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt gebremst werden muß und welche in der Hauptrichtung des Verkehrs ansteigen, von der Gesamtlänge l_1 , der Gesamtsteigung h_1 und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_1 ist.

Die Lokomotivkosten für einen Zug in der Hauptrichtung betragen:

$$B_0 l_1 + a (b Q_1 + L) (w l_1 + h_1 + 0,000018 \alpha_1)$$

oder

$$B_0 l_1 + \frac{a z L}{w + s} (w l_1 + h_1 + 0,000018 \alpha_1)$$

und für einen Zug in der entgegengesetzten Richtung $B_0 l_1$, so daß die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in jeder Richtung sind:

$$2 B_0 l_1 + \frac{a z L}{w + s} (w l_1 + h_1 + 0,000018 \alpha_1)$$

3) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt nicht gebremst zu werden braucht und welche in der Hauptrichtung

des Verkehrs fallen, von der Gesamtlänge l_{11} , einem Gesamtgefälle h_{11} und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_{11} beträgt.

Die Lokomotivkosten für einen Zug in der Hauptrichtung des Verkehrs sind:

$$B_0 l_{11} + \frac{azL}{w+s} (w l_{11} - h_{11} + 0,000018 \alpha_{11})$$

und für einen Zug in der entgegengesetzten Richtung:

$$B_0 l_{11} + a \{ (b = r + 1) Q_1 + L \} (w l_{11} + h_{11} + 0,000018 \alpha_{11})$$

oder

$$B_0 l_{11} + \frac{azL}{w+s} w l_{11} + h_{11} + 0,000018 \alpha_{11} \\ - (1 - r) \frac{a(z-w-s)L}{b(w+s)} \cdot (w l_{11} + h_{11} + 0,000018 \alpha_{11})$$

so daß die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in jeder Richtung sind:

$$2 B_0 l_{11} + \frac{2azL}{w+s} (w l_{11} + 0,000018 \alpha_{11}) \\ - (1 - r) \frac{a(z-w-s)L}{b(w+s)} \cdot (w l_{11} + h_{11} + 0,000018 \alpha_{11}).$$

4) Strecken, auf welchen bei der Thalfahrt gebremst werden muß und welche in der Hauptrichtung des Verkehrs fallen, mit einer Gesamtlänge l_{111} , einem Gesamtgefälle h_{111} und mit Kurven, deren Centriwinkelsumme α_{111} beträgt.

Die Lokomotivkosten für einen Zug in der Hauptrichtung des Verkehrs sind $B_0 l_{111}$ und in der entgegengesetzten Richtung:

$$B_0 l_{111} + a \{ (b + r - 1) Q_1 + L \} (w l_{111} + h_{111} + 0,000018 \alpha_{111}).$$

Sonach sind, unter Berücksichtigung der früher vorgenommenen Umformungen, die Lokomotivkosten zusammen für je einen Zug in jeder Richtung:

$$2 B_0 l_{III} + \frac{a z L}{w + s} (w l_{III} + h_{III} + 0,000018 \alpha_{III}) \\ - (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} (w l_{III} + h_{III} + 0,000018 \alpha_{III}).$$

Nach dem Vorstehenden sind die Lokomotivkosten für die ganze Länge der Bahn $l = l_0 + l_I + l_{II} + l_{III}$ zusammen für je einen Zug in jeder Richtung:

$$2 B_0 l + \frac{2 a z L}{w + s} \left\{ w l_0 + w l_{II} + \frac{1}{2} w l_I + \frac{1}{2} w l_{III} + \frac{1}{2} h_I \right. \\ \left. + \frac{1}{2} h_{III} + 0,000018 (\alpha_0 + \alpha_{II} + \frac{1}{2} \alpha_I + \frac{1}{2} \alpha_{III}) \right\} \\ - (1 - r) \frac{a (z - w - s) L}{b (w + s)} \left\{ w l_0 + w l_{II} + w l_{III} \right. \\ \left. + h_{II} + h_{III} - h_0 + 0,000018 (\alpha_0 + \alpha_{II} + \alpha_{III}) \right\}.$$

Die Fahrdienst- und Bremserkosten sind für den minder belasteten Zug in der Nebenrichtung, welcher die gleiche Zahl Wagen wie der Zug in der Hauptrichtung führt, ebenso groß wie für den Zug in der Hauptrichtung, also zusammen für je einen Zug in jeder Richtung:

$$2 (f + es) l b Q_1$$

oder

$$2 (f + es) l \frac{(z - w - s) L}{w + s}.$$

In jeder Richtung sind jährlich nach Gleichung 13:

$$\frac{n}{2} = \frac{b T}{1 + r} \frac{w + s}{(z - w - s) L}$$

Züge zu befördern, so daß die Betriebskosten für die ganze Bahnlinie betragen, wenn nach § 11 der Trassierungsmodulus p eingeführt wird und ferner

$$w l_0 + w l_{II} + w l_{III} + h_{II} + h_{III} - h_0 + 0,000018 (\alpha_0 \\ + \alpha_{II} + \alpha_{III}) = p_0$$

gesetzt wird:

$$K = \frac{2 b T}{1 + r} \left\{ (f + e s + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)}) l + \frac{a z p}{z - w - s} \right\} - \frac{1 - r}{1 + r} a T p_0.$$

Da die Betriebskosten für eine Tonne auf die ganze Länge der Bahn unter Voraussetzung eines gleich grossen Verkehrs in beiden Richtungen nach § 11 sind:

$$k = (f + e s + \frac{B_0 (w + s)}{L (z - w - s)}) l + \frac{a z p}{z - w - s}$$

so sind die Betriebskosten bei ungleichem Verkehr in beiden Richtungen:

$$(Gl. 15.) \quad K = \frac{2 b}{1 + r} T k - \frac{1 - r}{1 + r} a T p_0.$$

Das zweite Glied dieser Gleichung stellt die Ersparung an Zugkraftskosten dar, welche in Folge der geringeren Zugbelastung in der Nebenrichtung, verglichen mit der Zugbelastung der Hauptrichtung, eintreten. So lange der Verkehr in der Hauptrichtung nicht sehr erheblich überwiegt, etwa nicht mehr als doppelt so gross als in der anderen Richtung ist, beträgt dieses Glied kaum 2 Proz. des ersten Gliedes, so daß dasselbe meistens vernachlässigt werden kann und die Betriebskosten für einen in beiden Richtungen ungleichen Verkehr durch die einfache Gleichung:

$$(Gl. 16.) \quad K = \frac{2 b}{1 + r} T k$$

dargestellt werden können. Durch den Werth $b T k$ würden die Betriebskosten in der Nebenrichtung so hoch berechnet, als ob die Züge die gleiche Nutzlast wie in der Hauptrichtung hätten. Da die Nutzlast aber im Verhältniß von $1 + r$ zu 2 kleiner ist, als dieser Annahme entspricht, so erklärt sich die Multiplikation der für einen in beiden Richtungen gleichen Verkehr geltenden Kosten $b T k$ mit dem Faktor $\frac{2}{1 + r}$.

Ist der Unterschied der Verkehrsmenge nicht sehr erheblich, so kann man also die Berechnung der Betriebskosten unter der Annahme eines für beide Richtungen gleich grossen Verkehrs durchführen und die Abweichung von der gleichen Vertheilung des Verkehrs durch eine passende Bestimmung des Ladungskoeffizienten berücksichtigen, welcher zu

$$b_1 = \frac{2b}{1+r}$$

anzunehmen ist, wenn b der Ladungskoeffizient in der Hauptrichtung des Verkehrs und r das Verhältniss des Nutzlastenverkehrs in der Nebenrichtung zu dem in der Hauptrichtung bezeichnet.

Liegt aber die maßgebende Steigung in der Richtung des Nebenverkehrs, so findet man die Betriebskosten durch Benutzung der durch Gleichung 14 gegebenen Anzahl der Züge zu:

$$K = \frac{2(b+r-1)}{1+r} Tk - \frac{(b+r-1)(1-r)}{b(1+r)} a T p_0$$

und unter Vernachlässigung des meistens sehr kleinen zweiten Gliedes zu:

$$(Gl. 17.) \dots K = \frac{2(b+r-1)}{1+r} Tk.$$

Abschnitt II.

Untersuchungen über die zweckmässigste Anordnung der Einzelheiten der Trafse.

§ 15.

Einleitung.

Im Gegensatz zu der kommerziellen Trafse, welche in horizontaler Ebene liegend gedacht wurde und auf welcher daher die Betriebskosten für die Gewichts- und Längen-Einheit überall als gleich groß angenommen werden konnten, bildet die technische Trafse einen geradlinig gebrochenen Linienzug im Raume, dessen Knickpunkte durch Kurven ausgerundet sind, wobei die Betriebskosten für die Gewichts- und Längen-Einheit von der Neigung und Krümmung der Trafse nach der im ersten Abschnitt entwickelten Gesetzmässigkeit abhängig sind. Unter steter Festhaltung der allgemeinen Aufgabe des Trafsirens, nach welcher die aus den Zinsen des Anlagekapitals, den Bahn-Unterhaltungs- und den Betriebskosten bestehenden Gesamtverkehrskosten auf das geringste Maass gebracht werden sollen, lassen sich aus der Abhängigkeit dieser Kosten von der Neigung und Krümmung für die Gestaltung der Trafse in Grundriss- und Höhenlage bestimmte Vorschriften und Regeln ableiten und Verfahrensweisen angeben, welche zur Beurtheilung der Zweckmässigkeit der Trafse dienen. Zum Theil sind hierfür Vorschriften

maßgebend, wie sie auf Grund vielseitiger und langjähriger Erfahrungen durch die Vereinbarungen des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen festgelegt sind, zum Theil bedarf es aber noch besonderer Untersuchungen zur Herleitung der aufzustellenden Regeln, Gesetze und Verfahrensweisen.

Die Bestimmungen für die Gestaltung der Trasse sind aber nicht allein auf die Krümmungs- und Neigungsverhältnisse zu beschränken, sondern auch auf die Breiten-Abmessungen der Bahn und auf die Bahnhofsanlagen zu beziehen, da diese hierbei in mannigfacher Weise in Betracht kommen. Man kann hiernach bei den Bestimmungen für die Gestaltung der Trasse die folgenden vier Gruppen unterscheiden:

1. Bestimmungen über die Breite und Breiten-Eintheilung der Bahn, namentlich über die Spurweite, die Gleiszahl, den Abstand der Gleismitten, die Kronenbreiten, die Böschungsneigungen, die Breite der Seitengräben, Stellwannen, Schutzstreifen und Parallelwege.

2. Bestimmungen über die Krümmungsverhältnisse, namentlich über die kleinsten zulässigen Krümmungshalbmesser und über den Normalkrümmungshalbmesser, welcher noch ohne Ermäßigung der Steigung durchgeführt werden kann, ferner über Spurerweiterung und Schienen-Ueberhöhung in den Kurven, über Form und Länge der Uebergangskurven und über die Länge der Zwischengeraden bei Gegen-Kurven.

3. Bestimmungen über die Steigungsverhältnisse, namentlich für die zweckmäßigste Wahl der maßgebenden Steigung, sei es mit oder ohne Längen-Entwicklung der Trasse oder auch unter Zerlegung der ganzen Linie in gesonderte Betriebsstrecken; ferner über die Zulässigkeit und die mögliche Länge von Anlaufsteigungen, über die Verringerung der Steigung in Krümmungen und in Tunneln; über Ausrundung der Gefällwechsel und über Vermeidung verlorener Steigungen.

4. Bestimmungen über die Anlage der Bahnhöfe, namentlich über die Länge sowie über die zulässigen Steigungs- und Krümmungsverhältnisse derselben, ferner auch zur Ermittlung der zweckmässigsten Stationsentfernung.

Die in Bezug auf die vorstehend aufgeführten Verhältnisse der Trasse bestehenden Vorschriften und Erfahrungsergebnisse sowie die zur Beurtheilung derselben erforderlichen Rechnungen und Untersuchungen sind im Folgenden zusammengestellt.

§ 16.

Breite und Breiten-Eintheilung der Bahn.

Das Grundmaß für die Breite und Breiteneintheilung der Bahn bildet die Spurweite. Da bei der Ausdehnung, welche das Eisenbahnnetz in den meisten Kulturländern erreicht hat, an eine Aenderung der einmal bestehenden Spurweite nicht zu denken ist, so hat eine Untersuchung über die zweckmässigste Weite der Spur keinen praktischen Nutzen. Eine solche Untersuchung bietet ohnedies ganz außerordentliche Schwierigkeiten. Schon der Umstand, daß für alle einzelnen Bahnlinien, je nach der Höhe ihrer Baukosten und je nach der Art und Gröfse ihres Verkehrs, die zweckmässigste Spurweite sich verschieden ergeben muß, daß aber die Forderung eines einheitlichen Spurmaßes die Feststellung eines, unter allen gefundenen Spurweiten in günstigster Weise vermittelnden Maßes erheischt, läßt die Lösung der Frage in voller Schärfe als undurchführbar erkennen.

Am leichtesten ist es, für einen gegebenen Fall die Abhängigkeit der Baukosten von dem Maße der Spurweite festzustellen, obwohl selbst hierüber in den Aufsätzen und Schriften, welche die Frage behandeln, Meinungsverschiedenheiten über einzelne Punkte hervortreten. Weit schwieriger ist es aber, den Einfluß der Spurweite auf die Gröfse der

Anschaftungs- und Unterhaltungskosten der Lokomotiven und Wagen festzustellen, welche auf die Einheit der Arbeitsleistung der Lokomotive und auf die Einheit des Ladungsgewichtes der Wagen bezogen werden müssen. Offenbar werden diese Kosten für eine bestimmte Spurweite und zwar für die Lokomotive und für die verschiedenen Wagengattungen nicht für die gleiche, am kleinsten und *wachsen, wenn die Spurweite größer oder kleiner wird. Ueber diese schwierige, nur auf Grund längerer und sorgfältig angestellter Beobachtungen zu entscheidende Frage ist bis jetzt wenig Klarheit erreicht und wohl nur erkannt worden, daß die frühere große Spurweite der Great-Western-Bahn in England von 2,2 m etwas zu groß bemessen war.

Noch schwieriger und unlösbarer wird die Frage, wenn man auch die übrigen Betriebskosten, den Einfluß auf die Geschwindigkeit und die Sicherheit sowie auf die Bequemlichkeit des Reisens mit in Betracht zu ziehen versucht. Offenbar wird mit zunehmender Spurweite der Gang der Fuhrwerke ruhiger; denn der Winkel, welcher durch die vom Schwerpunkte des Wagens nach den Schienenkanten gezogenen Linien gebildet wird und dessen Größe man für die Beurtheilung des ruhigen Ganges der Wagen zu Grunde zu legen pflegt, wird mit zunehmender Spurweite stumpfer. Auch die unvermeidlichen Höhenunterschiede beider Schienen, welche für alle Spurweiten das gleiche Maß behalten, verursachen bei kleineren Spurweiten stärkere Schwankungen der Fahrzeuge, als bei größeren.

Glücklicherweise sind die Vortheile und Nachtheile einer Vergrößerung oder Verkleinerung der Spurweite in solcher Weise verkettet, daß man von dem in voller Schärfe günstigsten einheitlichen Spurmaße ziemlich weit nach oben oder unten abweichen kann, ohne daß die Gesamtkosten des

Eisenbahnverkehrs dadurch in einem in Betracht kommenden Maße erhöht würden. Es ist auch wohl unzweifelhaft, daß das verbreitetste Spurmaß, die sogenannte normale Spur von 1435 mm, der günstigsten einheitlichen Spurweite mindestens sehr nahe kommt. Es ist aber, wie bereits erwähnt, diese Frage von keiner praktischen Bedeutung.

Eine andere Frage ist es, ob nicht für bestimmte gegebene Fälle eine Abweichung von der einheitlichen Spur, sei es die Annahme einer größeren oder kleineren Spurweite, sich empfiehlt. Die in dieser Beziehung entscheidenden Erwägungen werden in § 18 erörtert werden.

Für die Breite der Hauptbahnen enthalten die Technischen Vereinbarungen des Vereins Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen vom Jahre 1882 die folgenden Bestimmungen.

„§ 4. Die normale Spurweite ist 1,435 m im Lichten der Schienen.

§ 7. Die Gleise der freien Bahn dürfen von Mitte zu Mitte nicht weniger als 3,5 m von einander entfernt sein. Treten den vorhandenen Doppelgleisen noch weitere Gleise hinzu, so ist deren Entfernung von den bestehenden, sowie unter sich, nicht unter 4 m anzunehmen. Bei Erbauung neuer Bahnen wird eine Entfernung von Mitte zu Mitte der Gleise von mindestens 4 m empfohlen.

§ 8. Die Kronenbreite des Bahnkörpers ist so zu bemessen, daß die Entfernung des Schnittes einer durch die Unterkante der Schienen gelegten Linie mit der Böschungslinie von der Mitte des nächsten Gleises nicht unter 2 m beträgt.“

Der Verein Deutscher Eisenbahn-Verwaltungen unterscheidet außer den Hauptbahnen noch Nebenbahnen und Lokalbahnen. Die Nebenbahnen stimmen in ihrem Oberbau im wesentlichen mit den Hauptbahnen überein, so daß

sowohl Lokomotiven wie Wagen der Hauptbahnen auf sie übergehen können, doch darf die Fahrgeschwindigkeit von 40 Km in der Stunde in keinem Punkte der Bahn überschritten werden. Die Lokalbahnen, normal- oder schmalspurig, dienen dem öffentlichen Verkehr, jedoch vorwiegend dem Lokalverkehre und werden mittelst Dampfkraft durch Adhäsionsmaschinen betrieben. Der größte Raddruck soll in der Regel nicht mehr als 5000 kg betragen und die Fahrgeschwindigkeit von 30 Km in der Stunde darf nirgends auf ihnen überschritten werden.

Die im Jahre 1886 aufgestellten Grundzüge für den Bau und Betrieb der Neben-Eisenbahnen enthalten über Spurweite und Gleis-Abstand in §§ 4 und 7 die gleichen Bestimmungen wie für Hauptbahnen. In § 8 wird aber der Abstand der Kronkante von der Mitte des nächstbelegenen Gleises auf 1,75 m ermäßigt, wobei aber in scharfen Krümmungen und auf hohen Dämmen eine Verbreiterung empfohlen wird.

Durch die Grundzüge für den Bau und Betrieb der Lokalbahnen, welche gleichfalls im Jahre 1886 aufgestellt wurden, wird die Normal-Spurweite, wie für die Haupt- und Nebenbahnen, auf 1,435 m festgestellt und empfohlen, die schmale Spur auf die beiden lichten Weiten von 1000 mm und 750 mm zu beschränken.

Normalspurige Gleise dürfen auf freier Bahn nicht weniger als 3,5 m Abstand von Mitte zu Mitte haben, wenn Wagen der Haupt- oder Nebenbahnen auf sie übergehen. Wo dies nicht der Fall ist, somit auch bei Schmalspurbahnen, wird empfohlen, diese Entfernung um 500 mm größer als die festgesetzte größte Wagen- bzw. Ladungsbreite zu nehmen.

Die Kronenbreite des Bahnkörpers ist so zu bemessen, daß die Entfernung des Schnittpunktes einer durch die Unterkante

der Schienen gelegten geraden Linie mit der Böschungsebene von der Mitte des nächsten Gleises bei normaler Spurweite nicht weniger als 1500 mm, bei Schmalspur nicht weniger als das Maß der Spurweite beträgt. In scharfen Krümmungen und auf hohen Dämmen wird eine Verbreiterung empfohlen.

Für die Trassierung ist die Breite des Erdkörpers in Höhe der Bettungssohle maßgebend, welche man im Gegensatze zur Kronenbreite als die Arbeitsbreite der Bahn bezeichnet. Man muß deshalb schon bei der Trassierung eine Bestimmung über die Stärke der Bettung treffen, welche von Bettungssohle bis Schienenunterkante gemessen und für Dämme, unter Berücksichtigung der besser gesicherten Abwässerung, geringer als für Einschnitte, und für Einschnitte in erdigem Boden geringer als für solche in Felsboden angenommen wird.

Bei Feststellung der Bettungsstärke ist die Bestimmung des § 10 der Technischen Vereinbarungen zu beachten, nach welcher die Bettung mindestens um 200 m unter die Unter- kante der Schwellen hinabreichen soll. Die Bettungsstärke wird deshalb für Dämme in der Regel zu 0,35 bis 0,4 m, für Einschnitte zu 0,4 bis 0,5 m angenommen.

Die Bettung wird auf dem Erdkörper meistens mit einer Böschung von 1 : 1 bis 1 : 1 $\frac{1}{2}$ aufgebracht und der Art daß von dem Fußpunkte der Bettungsböschung bis zur Kante der Böschung des Erdkörpers eine horizontale Berme von 0,2 bis 0,3 m entsteht. Danach ist die Kronenbreite der Bettung etwas kleiner als das Maß, welches für den Abstand der Schnittpunkte einer durch die Unter- kante der Schienen gelegten geraden Linie mit den Böschungsebenen vorgeschrieben ist. Die Arbeitsbreite der Dämme ist bei 1 $\frac{1}{2}$ fachen Böschungen und 0,35 m Bettungsstärke um $2 \cdot 1\frac{1}{2} \cdot 0,35 = 1,05$ m größer als das letztgenannte Maß. Für die Einschnitte ist der Arbeitsbreite noch die Grabenbreite in der Höhe der

Bettungssohle hinzuzufügen. Nimmt man als geringste Sohlenbreite der Einschnittsgräben 0,3 m und als geringste Tiefe dieser Einschnittsgräben unter Bettungssohle 0,3 m an, so ist die erwähnte Breite eines Einschnittsgrabens in Höhe der Bettungssohle bei Graben-Böschungen mit $1\frac{1}{2}$ facher Anlage $= 1,2$ m. Danach ist die Arbeitsbreite der Einschnitte bei 0,4 m Bettungsstärke um $2 (1\frac{1}{2} \cdot 0,4 + 1,2) = 3,6$ m breiter als die Kronenbreite der Bahn in Höhe der Schienenunterkante zwischen den Schnittpunkten mit den Böschungsebenen.

Mit der angegebenen knappen Grabentiefe und geringer Breite der Grabensohle ist aber nur in Einschnitten mit geringer Wasserführung auszukommen. Häufig werden die Einschnittsgräben nicht unerheblich breiter und tiefer hergestellt, so daß dementsprechend eine größere Arbeitsbreite der Einschnittssohle entsteht.

In felsigen Einschnitten mit lothrechten Böschungswänden kann aber unter Umständen die Arbeitsbreite noch etwas geringer ausfallen als für Einschnitte in erdigem Boden mit knappsten Abmessungen der Gräben.

Die für den Bahnbau erforderliche Bodenbreite wächst über das Maß der Arbeitsbreite hinaus nicht allein durch die Ausladung der Damm- oder Einschnittsböschungen, sondern auch noch durch die Stellwannen, welche außerhalb des äußeren Böschungsrandes noch in Breite von 0,5 bis 1 m angenommen werden, ferner durch Schutzstreifen in Haide- und Waldboden, durch Parallelwege, durch Schneewälle und Schutzmauern gegen Steinstürze, durch Gräben am bergseitigen Rande der Einschnitte und durch Einfriedigungsgräben, endlich durch Seiten-Ablagerungen und Seiten-Entnahmen.

Die ausgeführten Bahnen zeigen hiernach in der durchschnittlichen Gesamtbreite der erforderlichen Grundfläche,

aber auch in der Abmessung der Kronen- und Arbeitsbreite erhebliche Verschiedenheiten. Als Beispiel möge die Gotthardbahn angeführt werden. Nach Hellwag*) und Dolezalek**) beträgt die Kronenbreite der Bettung bei eingleisiger Bahn in Höhe der Schienen - Unterkanten 3,6 m und bei 3,5 m Abstand der Gleise von Mitte zu Mitte für die zweigleisige Bahnstrecke 7,1 m. Der Abstand der Schnittpunkte einer durch die Unterkante der Schienen gelegten geraden Linie mit den Böschungsebenen beträgt 4,2 m bei eingleisiger und 7,7 m bei zweigleisiger Bahn.

Die Stärke der Bettung beträgt auf Dämmen 0,35 m, in erdigen Einschnitten 0,4 m und in felsigen Einschnitten 0,5 m. Die Arbeitsbreite des Erdkörpers ist für Dämme mit einem Gleise 5,2 m, bei zwei Gleisen 8,7 m und für Einschnitte mit einem Gleise 7,9 m, für zweigleisige Einschnitte 11,4 m, wobei die Einschnittsgräben bei 0,35 m Sohlenbreite, 0,3 m Tiefe unter Bettungssohle und in Höhe der letzteren bei $1\frac{1}{2}$ fachen Böschungen 1,25 m Breite haben. Für tiefe Einschnitte werden die Einschnittsgräben vertieft und erbreitert und die Arbeitsbreite derselben auf 9 m und bezw. 12,5 m vergrößert.

Die Böschungsneigung ist für Dämme in der Regel $1\frac{1}{4}$ -fach, für Einschnitte $1 : 1\frac{1}{2}$; in festem Gestein aber lothrecht. In beschränkter Oertlichkeit sind Steinsätze aus geschichteten Bruchsteinen mit Böschungsneigungen $1 : 1$ bis 20 m Höhe ausgeführt, welche aber mindestens 1 m hoch mit Erdboden bedeckt sind. Stützmauern aus Trockenmauerwerk, welche $\frac{2}{3}$ Anlauf haben, wurden bis 10 m Höhe ausgeführt; Stützmauern aus Mörtelmauerwerk haben meistens keinen Anlauf.

*) Hellwag, Die Bahnachse und das Längenprofil der Gotthardbahn. Zürich 1876.

**) Zeitschrift des Hannoverschen Architekten- und Ingenieur-Vereins 1882. S. 479.

Die Stellwannen haben 0,5 bis 1,0 m Breite, Schutzstreifen in Haidegrund 8—10 m, in Laubholzbeständen 15 bis 20 m, in Nadelholz 20 bis 25 m Breite, vom nächsten Gleise gemessen.

§ 17.

Eingleisige und zweigleisige Bahn.

Ist anzunehmen, daß zur Bewältigung des Verkehrs dauernd ein Gleis genügt, so wird selbstverständlich die Trasse auch nur für eine eingleisige Bahn bearbeitet, mit Ausnahme der Bahnhöfe, welche unter allen Umständen zwei Hauptgleise erhalten.

Ist aber, wenn auch nur erst nach längerer Zeit, die Herstellung eines zweiten Gleises als erforderlich anzunehmen, so ist es zweckmäßig, die Trasse schon bei der ersten Anlage für eine zweigleisige Bahn zu bestimmen und je nach Schätzung der Zeit, in welcher das zweite Gleis herzustellen sein wird, Vorkehrungen für die Anlage desselben zu treffen.

Selbst wenn das zweite Gleis voraussichtlich erst nach Verlauf von 30 bis 40 Jahren erforderlich werden sollte, wird es gerechtfertigt erscheinen, den Grunderwerb für dasselbe schon bei der ersten Anlage zu beschaffen. Der Grunderwerb für das zweite Gleis beschränkt sich auf einen Streifen von 4 m Breite für die Länge der freien Strecke, welche zu 0,9 der Gesamtlänge der Bahn zu rechnen ist, so daß durchschnittlich 36 Are auf 1 Km Bahnlänge dafür erforderlich werden, deren Ankaufspreis auf 2000 bis 3000 Mk. zu schätzen ist. Nach Verlauf von 40 Jahren würden bei Rechnung von 4 Proz. diese Summen mit Zinsen und Zinseszinsen auf 9600 bis 14 400 Mk. angewachsen sein. Rechnet man aber, daß die Grundfläche auch nur zu 1 Proz. ihres Ankaufspreises sich verpachten läßt, so bleiben nur 3 Proz. Verlust, wodurch nach

Ablauf von 40 Jahren die Kosten für 1 Km auf 6500 bis 9750 Mk. angewachsen sein würden. Es ist aber wahrscheinlich, daß man nach Ablauf von 40 Jahren für den betreffenden Grunderwerb, in Folge der in unmittelbarer Nähe der Bahn leicht eintretenden Besetzung mit Gebäuden oder eines aus anderen Ursachen gesteigerten Nutzungswerthes eine grössere Summe würde zahlen müssen.

Begreiflicherweise stützt sich die Begründung der Nützlichkeit einer solchen Maßregel immerhin auf Schätzungen, welche keinen hohen Grad von Sicherheit haben.

Eine weitere Maßregel zur Vorbereitung der späteren Anlage eines zweiten Gleises besteht in der Einrichtung der Kunstbauten der Strecke. Lange Tunnel wird man schon mit Rücksicht auf genügende Lüftung und weitgespannte Brücken mit eisernem Ueberbau aus Rücksicht auf den Winddruck meistens zweigleisig herstellen.

Für kürzere Tunnel stellt sich die Rechnung, wenn voraussichtlich nach n Jahren das zweite Gleis nöthig wird, bei Anrechnung eines Zinsfußes i folgendermaßen. Kostet die Längeneinheit des Tunnels bei der ersten Anlage für eingleisige Bahn A_1 für zweigleisige Bahn A_2 , dagegen die spätere Erweiterung des eingleisigen Tunnels für zwei Gleise oder bezw. die Anlage eines zweiten eingleisigen Tunnels neben dem ersten A , so empfiehlt sich die sofortige Herstellung eines zweigleisigen Tunnels, wenn $(A_2 - A_1)(1 + i)^n$ kleiner ist als A .

Für gewölbte Brücken und eiserne Brücken mit unterhalb der Fahrbahn liegenden Trägern wird bei Beschränkung auf die Fertigstellung eines Gleises in der Regel zweckmäfsig der Grundbau für die zweigleisige Anlage durchgeführt, die Brücke aber nur an einer Stirnseite mit den endgültig hergestellten Flügeln versehen, während an der andern Seite ein

später wieder fort zu nehmendes Stirnmauerwerk aufgeführt wird und die Widerlagsmauern für die zweite Brückenhälfte in abgetreppter Form und in solcher Weise aufgemauert werden, daß sie als in der Verlängerung der Widerlagsmauern der ersten Brückenhälfte liegende, schräg abfallende Flügel dienen, an welche die Böschung des eingleisigen Bahnkörpers sich anschließt. Die Entscheidung über die Zweckmäßigkeit einer solchen Anordnung ist auf Grund der vorstehend für die Tunnel-Anlagen gegebenen Formel zu finden.

Für eiserne Brücken mit zwischen den Hauptträgern liegender Fahrbahn ist zu beachten, daß der Pfeiler-Unterbau für zwei eingleisige Ueberbau-Konstruktionen in der Richtung des Stromlaufs um etwa 1,5 m länger wird als für einen einzigen zweigleisigen Ueberbau. Sind P die Mehrkosten, welche die längeren Pfeiler für zwei eingleisige Ueberbaue im Vergleich zu den Pfeilern einer zweigleisigen Brücke erfordern, ferner A_1 die Kosten eines eingleisigen, A_{II} die Kosten eines zweigleisigen Ueberbaus, so spart man bei Beschränkung der ersten Anlage auf ein Gleis im Vergleich zu einer Anlage mit zweigleisigem Ueberbau $A_{II} - A_1 - P$. Diese Ersparung muß in der Zeit von n Jahren, nach welcher die Herstellung des zweiten Gleises erforderlich wird, mit Zinsen und Zinseszinsen mehr als die nach n Jahren aufzuwendenden Kosten betragen, wenn die Anordnung sich rechtfertigen soll, so daß man dafür die Bedingung erhält:

$$(A_{II} - A_1 - P) (1 + i)^n > A_1.$$

Kostete beispielsweise für eine Brücke von 3 Oeffnungen von je 30 m Weite ein eingleisiger eiserner Ueberbau $A_1 = 36\,000$ Mk., ein zweigleisiger Ueberbau $A_{II} = 71\,000$ Mk., kostete ferner der Ueberbau zur Aufnahme zweier eingleisigen Brücken $P = 8\,000$ Mk. mehr als für eine zweigleisige Brücke, so würde es vorthellhaft sein, sofort die zweigleisige Brücke

herzustellen, wenn das zweite Gleis in weniger als 7,4 Jahren erforderlich sein würde, da: $(71\,000 - 36\,000 - 8000)(1,04)^{7,4} > 36\,000$ ist.

Die Erbreiterung des ursprünglich für ein Gleis hergestellten Erdkörpers für das zweite Gleis läßt sich nicht für die bei der ersten Anlage durch Beschränkung auf ein Gleis gemachte Ersparung $A_{11} - A_1$ ausführen. Zunächst sind die Bahnen und Gleise für die Bodenverfahrung, welche man ohne wesentliche Mehrkosten auch für die Erbreiterung des Erdkörpers hätte benutzen können, von Neuem herzurichten, so dann ist die Böschungsbekleidung des eingleisigen Bahnkörpers an einer Seite abzutragen und nach der Verbreiterung für das zweite Gleis wieder anzubringen, ferner müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um ein Abrutschen der seitlich angeschütteten Erdmassen zu verhüten. Besondere Schwierigkeiten treten bei Querschnitten im Anschnitt hervor, weil hier bei bergseitiger Abgrabung und thalseitiger Anschüttung die Bekleidung beider Böschungen zunächst beseitigt und später wieder angebracht, sowie eine Seitenverschiebung des Gleises vorgenommen werden muß. Es empfiehlt sich deshalb, sowohl bei der ersten Anlage der eingleisigen Bahn wie auch bei der späteren Verbreiterung für das zweite Gleis die Querausgleichung von Ab- und Auftrag durch eine Längen-Ausgleichung zu ersetzen, indem man von der für zwei Gleise entworfenen Anlage auf bestimmte Längenerstreckung wechselnd das linke und das rechte Gleis bei der ersten Anlage herstellt und bei der späteren Ergänzung des zweiten Gleises entsprechend streckenweise die Erbreiterung bald bergseitig und bald thalseitig vornimmt. Da die Längenbewegung des Bodens kostspieliger als die Querbewegung desselben ist und da in den Uebergangsstrecken vom linken zum rechten Gleise dennoch eine Gleisverschiebung und die Umlegung einer

Böschungsbekleidung und bezw. zweier Böschungsbekleidungen in den Uebergangsstrecken nicht vermieden wird, so entsteht auch bei einer solchen nachträglichen Erbreiterung immer noch eine wesentliche Vertheuerung. Es bedarf diese Art der Ausführung, bei welcher man den Uebergang vom Ausbau des rechten und linken Gleises möglichst in die Zwischengeraden von Gegenkrümmungen zu legen sucht, begreiflicherweise einer umständlichen Ueberlegung. Unter allen Umständen erfordert die spätere Erbreiterung des Erdkörpers für das zweite Gleis einen Mehrkosten-Aufwand $A = m (A_{11} - A_1)$, welcher nur gerechtfertigt erscheint, wenn die bei der ersten Beschränkung auf ein Gleis gemachte Ersparung $A_1 - A$, mit Zinsen und Zinseszinsen innerhalb der Zeit von n Jahren, für welche ein Gleis genügt, größer ist, so daß man den Erdkörper sofort zweigleisig herstellen muß, wenn

$$(1 + i)^n < m$$

ist. Wäre beispielsweise $m = 1,5$, wie im Durchschnitt angenommen werden kann, so müßte bei Anrechnung eines Zinsfußes $i = 0,04$ der Erdkörper sofort zweigleisig in der ersten Anlage hergestellt werden, wenn das zweite Gleis früher als nach $n = 10$ Jahren erforderlich wäre.

Es giebt nach den vorstehenden Erörterungen in den Vorkehrungen für die Anlage des zweiten Gleises je nach der Zeitdauer, für welche ein Gleis genügt, verschiedene Abstufungen, welche zwischen der alleinigen Erwerbung der demnächst erforderlichen Grundfläche und der vollständigen Herstellung des Bahn-Unterbaues liegen, mit verschiedenartiger Ausführungsweise der Kunstbauten der Strecke.

§ 18.

Normalspur oder Schmalspur.

Nach den Vereinbarungen des Vereins deutscher Eisen-

bahn-Verwaltungen sind die Hauptbahnen und die Nebenbahnen unter allen Umständen normalspurig auszuführen und nur für die dritte Stufe der Bahnen, die Lokalbahnen, welche zwar einem öffentlichen, aber doch vorwiegend nur dem Lokalverkehre dienen, ist eine Wahl zwischen der Normalspur und Spurweiten von 1000 mm oder 750 mm zulässig.

Bei der Vergleichung der Normal- und der Schmalspur muß festgehalten werden, daß die Anzahl der Züge und die mit dem einzelnen Zuge zu befördernde Nutzlast, vor Allem aber die Fahrgeschwindigkeit und die dieser entsprechende Konstruktion der Betriebsmittel für alle Fälle die gleiche ist*).

Als Vorthteile der Schmalspur sind anzuführen:

1) Die Ersparung von Anlagekosten in Folge der geringeren Breiten-Abmessungen der Bahn.

2) Die Ersparung an Anlagekosten, welche in Folge der Anwendbarkeit schärferer Kurven durch ein genaueres Anschmiegen der Trasse an die Bodengestaltung entsteht.

3) Die durch die Zulässigkeit schärferer Kurven gewonnene Möglichkeit, die Trasse den Anforderungen des Verkehrs besser anzupassen, sie in das Innere von Ortschaften oder gewerblichen Anlagen näher zu führen.

Dem gegenüber stehen als Vorthteile der Normalspur:

1) Die Vermeidung des Umladens der Güter beim Uebergange von und auf Haupt- oder Nebenbahnen.

2) Die gröfsere Brauchbarkeit für Kriegszwecke und für einzelne besondere Versendungen.

*) Dies ist in dem seit Jahren über Normal- oder Schmalspur in der technischen Litteratur geführten Streite nicht immer geschehen, überhaupt ist die Entscheidung über diese bis zum Ueberdruß erörterte Streitfrage vielfach durch geschäftliche und andere persönliche Rücksichten verwirrt und verdunkelt worden.

3) Die Möglichkeit, ältere Betriebsmittel, wie Wagen, Drehscheiben u. s. w., welche auf Bahnen mit großer Fahrgeschwindigkeit ausgeschieden werden mußten, zu verwenden.

4) Die Möglichkeit, mit geringerem Kosten-Aufwande bei einer Zunahme des Verkehrs in eine Bahn höherer Bedeutung umgewandelt werden zu können.

Der außerdem für die Normalspur noch oft beanspruchte Vorzug billigerer Betriebskosten ist aus den später aufgeführten Gründen hier nicht mit aufgenommen.

Zwischen den erwähnten Vorzügen der Schmalspur oder der Normalspur läßt sich begreiflicher Weise nicht allgemein, sondern nur für den einzelnen gegebenen Fall eine Entscheidung treffen. Für die dabei vorzunehmenden Rechnungen und Erwägungen mögen noch die folgenden Erörterungen dienen.

Die Verschmälerung der Spur führt zu Ersparungen in den Kosten für den Grunderwerb, für die Erdarbeiten, für die Kunstbauten der Strecke, für die Gleisbettung und für die Querschwellen. Die Schienen können bei schmaler Spur nicht schwächer als bei normaler Spur genommen werden, weil bei gleicher Fahrgeschwindigkeit und bei gleichem Zug-Gewichte auch das Lokomotiv-Gewicht das gleiche bleiben muß, wenn auch die Raddrücke der Wagen bei schmaler Spur etwas kleiner als auf der Normalspur sind. Streng genommen müßten sogar für die Schmalspur die Schienen verstärkt werden, weil die aus ungleicher Höhenlage der Schienen entstehenden Schwankungen der Fahrzeuge auf der Schmalspur stärker sind.

Wenngleich durch die Vereinbarungen deutscher Eisenbahn-Verwaltung als geringste zulässige Kronenbreite der Schmalspurbahnen das doppelte Maß der Spurweite festgestellt ist, so darf man doch bei Vergleichung verschiedener Spur-

weiten diese Bestimmung nicht zu Grunde legen, da gleiche Sicherheit des Betriebes nur dann vorhanden ist, wenn bei den verschiedenen Spurweiten der Abstand der Schwellenenden, der Bettungskanten und der Kronkanten des Erdkörpers von der äußeren Schienenkante der gleiche ist. Unter Festhaltung dieser Bedingung wird die Breite des Grunderwerbs, des Erdkörpers, der Kunstbauten der Strecke und der Bettung, sowie die Länge der Querschwellen nur um das Maß der Spurverschmälerung geringer, also im Vergleich zur Normalspur bei der Spurweite von 1 m um rund 0,45 m und bei der Spurweite von 0,75 m um rund 0,7 m.

Die Ersparung an Anlagekosten für eine Bahn von 1 m Spurweite gegen eine normalspurige Bahn kann man hiernach für den Km in folgender Weise berechnen:

a) Ersparung an Grunderwerb: Ein Streifen von 0,45 m Breite, also $4\frac{1}{2}$ Are zu 60 Mk. . . .	270 Mk.
b) Ersparung an Erdarbeiten, unter Annahme einer durchschnittlichen Abweichung der Höhenlage der Bettungssohle von der Bodenoberfläche von 1 m = 450 Kbm zu 1 Mk.	450 „
c) Ersparung an Bettungskies bei 0,3 m Stärke der Bettung = $0,3 \cdot 0,45 \cdot 1000 = 135$ Kbm zu 3 Mk.	405 „
d) Ersparung an Querschwellen: $1111 \cdot 0,45 = 500$ lfd. Meter zu 1,2 Mk.	600 „
e) Ersparung am Grunderwerb, Erdbau und an den Gleisanlagen der Bahnhöfe, durchschnittlich für den Km der Bahnlänge ein Zuschlag von 10 Proz. der unter a bis d berechneten Kosten mit	173 „
f) Ersparung an den Kunstbauten der Strecke etwa	302 „
Summa . . .	2200 Mk.

Für eine Bahn von 0,75 m Spurweite entsteht eine im Verhältniß von 0,6 zu 0,45 grössere Ersparung, also rund 3800 Mk.

Eine weitere Ersparung, deren Betrag aber nur nach vollständiger Bearbeitung von Entwürfen für gegebene Bodengestaltung ermittelt werden kann, entsteht durch die bei der schmalen Spur mögliche Anordnung kleinerer Krümmungshalbmesser.

Nach den werthvollen theoretischen Untersuchungen Boedecker's*) bleibt der Kurven-Widerstand unverändert, wenn in gleichem Verhältnisse mit der Spurweite auch der Radstand, der Raddurchmesser, der Spielraum im Gleise und der Krümmungshalbmesser der Kurve abnehmen. Allerdings nimmt man aus naheliegenden Gründen eine gleichmässige Verkleinerung des Raddurchmessers mit der Verschmälerung der Spurweite nicht vor, sondern geht von dem Raddurchmesser auf normaler Spur von 0,90 bis 0,97 gewöhnlich bei einer Spurweite von 1,0 m nicht unter 0,85 m und bei einer Spurweite von 0,75 m nicht unter 0,75 m Raddurchmesser herab. Nach Boedecker's Untersuchungen ist aber der Raddurchmesser innerhalb der erwähnten Grenzen überhaupt nur von unerheblichem Einflusse auf die Grösse des Kurven-Widerstandes, so dafs man, wenn nur der Radstand gleichmässig mit der Spurweite verkleinert wird, annehmen kann, dafs eine Kurve von 50 m Halbmesser bei 0,75 m Spurweite oder von 70 m Halbmesser bei 1,0 m Spurweite keinen grösseren Widerstand bietet als eine Kurve von 100 m Halbmesser in einer Bahn mit normaler Spurweite.

Man kann den Kurven-Widerstand, welcher nach § 7

*) Boedecker, die Wirkungen zwischen Rad und Schiene. Hannover 1887. Hahn'sche Buchhandlung.

für normalspurige Bahnen zu $c = \frac{1}{r}$ angenommen wurde,
 allgemein für ein Spurmaß m zu $c = \frac{0,7 \, m}{r}$ festsetzen, also
 für ein Spurmaß $m = 1,0$ zu $c = \frac{0,7}{r}$ und für ein Spurmaß
 $m = 0,75$ zu $c = \frac{0,525}{r}$, wobei r stets den Krümmungshalb-
 messer der Kurve in Metern angiebt.

Scharfe Krümmungen der Lokalbahnen werden noch un-
 bedenklicher bei der jetzt vielfach, z. B. bei den sächsischen
 Schmalspurbahnen, mit bestem Erfolge angewendeten Lenk-
 achsen.

Es ist begreiflich, daß die Anwendbarkeit kleinerer
 Krümmungshalbmesser bei schwieriger Bodengestaltung zu
 erheblicheren Ersparungen an Anlagekosten führen kann, als
 die, welche unmittelbar aus der Verkleinerung der Breiten-
 Abmessungen entstehen.

Bleibe die Trasse, also auch die Gröfse der Krümmungs-
 halbmesser der Kurven, bei Verringerung der Spurweite un-
 verändert, so würde immerhin durch die Verminderung des
 Kurven-Widerstandes eine Verringerung der Betriebskosten
 entstehen. Für eine Schmalspurbahn von 0,75 m Spurweite
 wird der Kurven-Widerstand um $\frac{0,7 (1,435 - 0,750)}{r} = \frac{0,48}{r}$
 kleiner als auf normaler Spur. Für eine Kurve von α Grad
 Centriwinkel und r Meter Halbmesser, deren Länge also
 $0,0000175 \, \alpha r$ Kilometer beträgt, wird demnach für den
 Uebergang einer Tonne an Arbeit zur Ueberwindung des
 Kurven-Widerstandes gespart:

$$\frac{0,48}{r} \cdot 0,0000175 \, \alpha r = 0,000008 \, \alpha.$$

Da die Leistung einer Tonne Zugkraft auf einen Kilo-

meter Länge nach § 5 einen Kosten-Aufwand von 25 Pfennigen = $\frac{1}{4}$ Mark erfordert, so entsteht für jede Tonne eine Ersparung von 0,000002 α Mark.

Würde beispielsweise die Summe der Centriwinkel der Kurven durchschnittlich für den Km Bahnlänge 50 Grad betragen, so würden in Folge des geringeren Kurven-Widerstandes auf der schmalen Spur für den Tonnen-Km 0,0001 Mark an Betriebskosten erspart, welche auf schädlichen Steigungen in einer, auf unschädlichen Steigungen aber in beiden Richtungen in Betracht kommen. Die Ersparung ist freilich nur geringfügig, da sie für den beispielsweise angenommenen Fall, wenn 200 000 Tonnen Gesamtlast über die Bahn rollen und die Hälfte der Kurven in unschädlicher Steigung liegt, jährlich nur 15 Mark beträgt.

Von kaum erheblicherem Einflusse auf die Verminderung der Betriebskosten ist das günstigere Verhältniß der Rohlast zur Nutzlast, welches im Vergleich zur Normalspur auf der Schmalspur erreichbar ist. Werden die Wagen für verschiedene Spurweiten nach gleichen Grundsätzen und für gleiche Fahrgeschwindigkeit konstruirt, so wird an dem auf die Einheit der Nutzladung bezogenen Wagengewichte an den Theilen des Unterwagens, den Achsen, Rädern, Achslagern und Federn durch Verschmälerung der Spurweite kaum etwas erspart werden, bei den Buffern und Kuppelungen sogar ein Mehrverbrauch eintreten, dagegen bei den Wagenkasten, wenn auch der Radstand im Verhältniß der Spurweite verkleinert wird, eine Gewichtsverminderung erreicht werden; für den ganzen Wagen würde sich darnach das Verhältniß der Rohlast zur Nutzlast durch Verschmälerung der Spurweite nur um ein Geringes günstiger gestalten. Das Verhältniß wird aber für die Schmalspur durch den Umstand günstiger, daß die normalspurigen Güterwagen mit Rücksicht auf den Ueber-

gang auf Hauptbahnen mit größerer Fahrgeschwindigkeit verhältnißmäßig stärker gebaut werden müssen, als die stets auf den Lokalbahnen bleibenden schmalspurigen Wagen. Nach genauen Angaben*) über die Wagen der Königlich Sächsischen Nebenbahnen beträgt das auf 100 kg Nutzladung kommende Wagengewicht für die bedeckten Güterwagen auf normaler Spur 61 bis 95 kg, auf der Schmalspur von 0,75 m dagegen nur 38 bis 46 kg, und für die offenen Güterwagen auf der Normalspur 47 bis 72 kg, auf der Schmalspur 37 bis 44 kg. Bei den Personenwagen, welche auch für die normalspurigen Nebenbahnen weit leichter, als für die Hauptbahnen gebaut sind, tritt eine Gewichtsverminderung auf der Schmalspur nicht ein; es beträgt auf den Sächsischen Nebenbahnen das auf einen Sitzplatz kommende Gewicht der Personenwagen bei normaler Spur 89 bis 174 kg, bei schmaler Spur 152 bis 172 kg.

Nach den angegebenen Wagengewichten wird man unter Zugrundelegung eines gleichen Ausnutzungsgrades der Lade-fähigkeit annehmen können, daß beim Güterverkehr auf einer Bahn von 0,75 m Spurweite auf die Tonne Nutzlast mindestens $\frac{1}{3}$ Tonne Wagengewicht weniger, als auf normaler Spur durchschnittlich fortzuschaffen ist. Wäre der Zugwiderstand auf der ganzen Strecke durchschnittlich 0,006 der Last, so würden also bei Beförderung einer Tonne Nutzlast auf einen Km Länge auf der schmalen Spur 0,002 Tonnen-Km Arbeit erspart, was einem Kostenbetrage von 0,0005 Mark entspricht. Beispielsweise würden also auf einer Bahn, deren Güterverkehr 50 000 Tonnen Nutzlast beträgt auf einer Schmalspur von 0,75 m Weite 25 Mark für den Km im Vergleich zur Normalspur erspart werden.

*) Vom Geh. Finanzrath Köpcke und Finanzrath Strick in Dresden.

Den berechneten Ersparungen an Zugkraftskosten, welche in Folge des verminderten Kurvenwiderstandes und in Folge des günstigeren Verhältnisses der Rohlast zur Nutzlast auf der Schmalspur eintreten, steht aber eine Mehrausgabe an Fahrdienstkosten gegenüber.

Die auf 100 kg Nutzladung entfallenden Anschaffungskosten waren auf den Sächsischen Nebenbahnen bei den bedeckten Güterwagen auf normaler Spur 22 bis 49 Mark, auf schmaler Spur 21 bis 22 Mark, bei den offenen Güterwagen auf normaler Spur 16 bis 28 Mark, auf schmaler Spur 18 bis 19 Mark, und die auf einen Sitzplatz der Personenwagen kommenden Anschaffungskosten bei normaler Spur 58 bis 107 Mark, bei schmaler Spur 97 bis 122 Mark. Nach diesen Zahlen sind die Anschaffungskosten des Wagenparks bei schmaler Spur für den Güterverkehr etwas kleiner, dagegen für den Personenverkehr gröfser, so dafs im Allgemeinen ein bemerkenswerther Unterschied bei diesen Ausgabeposten für die Schmal- und Normalspur wohl nicht anzunehmen ist. Die Unterhaltungskosten der Wagen, über welche freilich vergleichende Angaben nicht vorliegen, müssen aber zweifellos für den Güterverkehr auf der Schmalspur gröfser als auf der Normalspur sein, da die Unterhaltungskosten der Wagen im Wesentlichen von der Anzahl der einzelnen Wagentheile, wie Achsen, Räder, Achslager, Federn, Buffer, Kuppelungen u. s. w. abhängig sind, von denen für Fortschaffung der gleichen Nutzladung auf der Schmalspur mehr erforderlich sind als auf normaler Spur.

Da die Unterhaltungs- und Erneuerungskosten der Güterwagen für Hauptbahnen nach § 5 für den Nutztonnen-Kilometer 0,185 Pfennig betragen und auf Nebenbahnen von normaler Spurweite gewifs nicht unter 0,12 Pfennig herabgehen werden, so würden, wenn auf schmaler Spur diese

Kosten sich, wie schätzungsweise anzunehmen ist, um die Hälfte steigern sollten, bei einem Verkehr von 50 000 Tonnen Nutzlast jährlich für den Kilometer $50\,000 \cdot 0,06$ Pfennig = 30 Mark mehr an Unterhaltungskosten der Wagen erforderlich werden.

Wenn die vorstehenden Rechnungen auch keineswegs als völlig befriedigend und erschöpfend bezeichnet werden können, so wird man doch auf Grund derselben behaupten können, daß unter Voraussetzung gleicher Betriebsweise die Betriebskosten auf normaler und schmaler Spur nur unerheblich verschieden sein können, da das, was auf der Schmalspur an Zugkraftskosten gespart wird, an den Unterhaltungskosten der Wagen nahezu wieder eingebüßt wird.

Zieht man in Rechnung, daß durch die Annahme der Schmalspur die Verwendung von Bahnausrüstungsgegenständen und Betriebsmitteln, welche auf den Hauptbahnen ausgeschieden wurden, aber für Lokalbahnen noch verwendbar sein würden, ausgeschlossen wird, daß ferner in Zeiten eines außergewöhnlich starken Verkehrs die Aushilfe durch Betriebsmittel der angrenzenden Hauptbahnen unmöglich und daher die Beschaffung eines stärkeren Wagenparks erforderlich wird, daß ferner die Schmalspurbahnen für Kriegszwecke und für einzelne Verkehrsgattungen nicht die gleiche Bequemlichkeit und Leistungsfähigkeit wie Normalspurbahnen besitzen, daß endlich alle von normalspurigen Bahnen kommenden oder auf diese übergehenden Güter umgeladen werden müssen; so werden die Fälle nicht häufig vorkommen, in welchen diese Nachteile durch die Ersparung an Anlagekosten, welche durch Einschränkung der Breiten-Abmessungen entsteht und welche im Ganzen nur 5 bis 10 Prozent des gesamten Anlagekapitals beträgt, ausgeglichen werden.

Von den Nachtheilen der Schmalspur hat in den meisten

Fällen die Nothwendigkeit des Umladens von Gütern die größte Bedeutung. Durch zweckmäßige Umlade-Einrichtungen, Sturzgerüste, zuweilen sogar durch Uebersetzen der ganzen Wagenkasten von den Unterwagen der einen Spur auf die der andern, hat man die Kosten der Ausführung des Umladens oft auf ein geringes Maß herabgebracht. Man darf dabei aber die Zinsen des Anlagekapitals und die Unterhaltungskosten aller für das Umladen hergestellten Anlagen nicht außer Betracht lassen und muß unter Umständen auch den Zeitverlust, die Werthverschlechterung der Güter durch das Umladen und das Erforderniß einer größeren Anzahl von Wagen berücksichtigen.

Beträge für eine 25 Km lange Zweigbahn von 0,75 m Spurweite die Ersparung an Anlagekosten im Vergleich zur Normalspur die Summe von $25 \cdot 3800 = 95\,000$ Mark; und wären die Betriebskosten so groß wie auf einer normalspurigen Bahn, so dürften nicht mehr, als die Zinsen jener Ersparung, also $0,04 \cdot 95\,000 = 3800$ Mark jährlich für das Umladen von Gütern ausgegeben werden, wenn die Schmalspur noch von Vortheil sein sollte. Rechnet man die Kosten des Umladens, einschließlichs aller Nebenkosten, zu durchschnittlich 0,2 Mark für die Tonne, so dürften also nicht mehr, als 19 000 Tonnen jährlich umzuladen sein.

Die Entscheidung über die Frage, ob die Schmalspur für Lokalbahnen sich empfiehlt, kann, wie bereits erwähnt, allgemein nicht getroffen, sondern nach den hier erörterten Gesichtspunkten nur für bestimmte Fälle vorgenommen werden. Im Allgemeinen kann die Anwendung der Schmalspur nur da von Vortheil sein, wo beim Anschlusse an die Normalspur ein Umladen von Gütern, im Verhältniß zur Länge der Schmalspurbahn, nur in geringfügigem Maße erforderlich wird, oder wo, wie beim Anschlusse an Wasserstraßen, ein Umladen auch bei

der Annahme der Normalspur nothwendig wäre, oder endlich da, wo die Anwendbarkeit schärferer Kurven zu besserer Anschmiegung an die Bodengestaltung oder an den Linienzug vorhandener Straßen oder zur Einführung in bebaute Ortschaften erstrebt werden muß.

Wenn man aber für die Schmalspur sich entscheidet, wird man sich wohl nur selten darauf beschränken dürfen, mit der Verschmälerung der Spurweite bis 1 m herabzugehen, sondern wird die Spurweite von 0,75 m wählen müssen, da bei 1 m Spurweite alle Nachtheile der Schmalspur in fast gleichem Maße die Vortheile durch Ersparung an Baukosten aber in weit geringerem Maße als bei der Spurweite von 0,75 m eintreten. Ein Herabgehen unter die Spurweite von 0,75 m, wie es mit oft hervorgehobenem Erfolge und unter besonderen Verhältnissen bei der bekannten Festiniog-Bahn in England, welche nur 0,59 m Spurweite besitzt, geschehen ist, wird unter Berücksichtigung der Erschwerung einer guten Einrichtung der Betriebsmittel und wegen der eintretenden stärkeren Schwankungen und Stöße der Wagen und Lokomotiven nicht empfehlenswerth erscheinen.

§ 19.

Die Krümmungsverhältnisse.

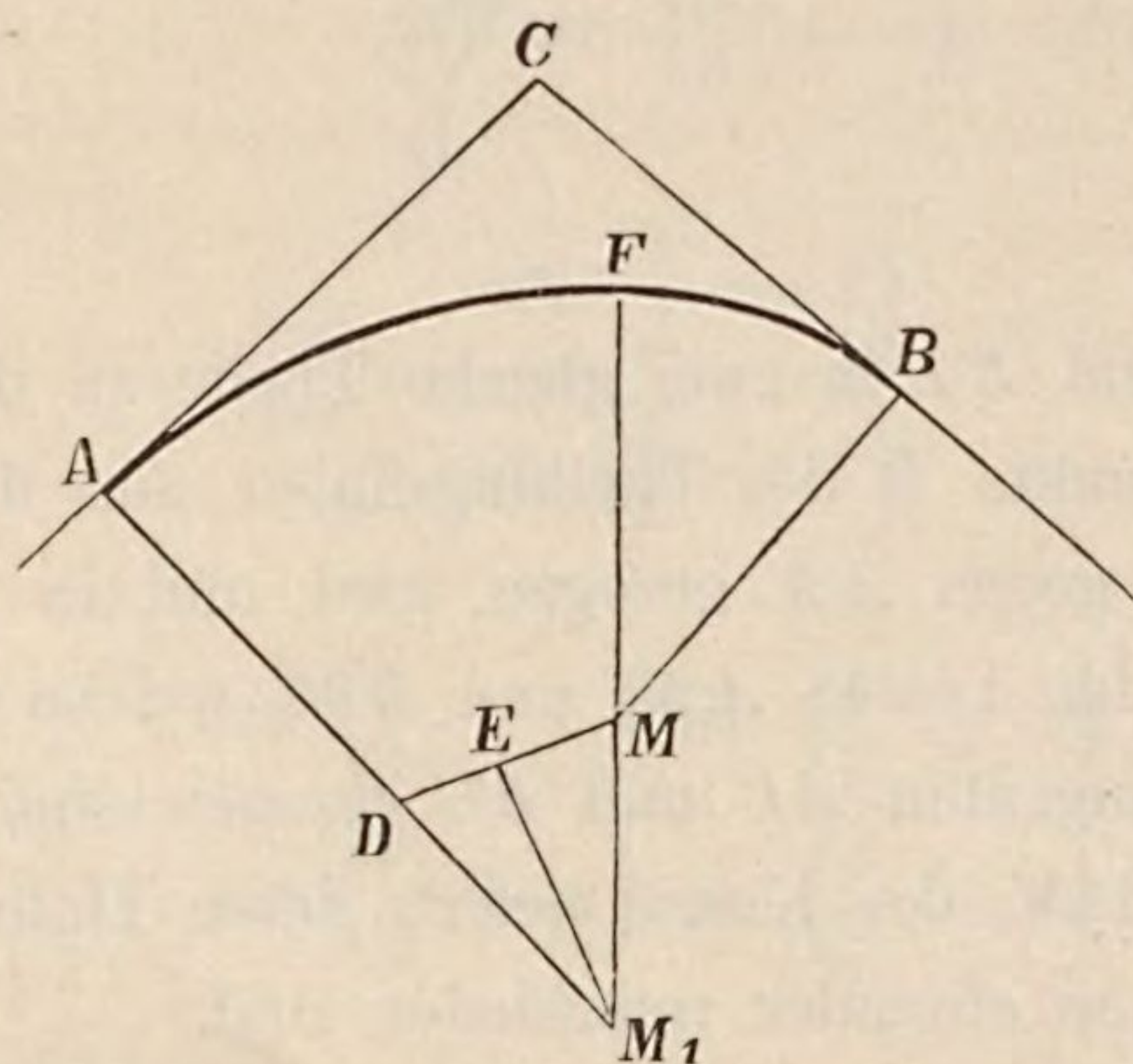
Zur Ausrundung der Knickpunkte der geradlinig gebrochenen Trasse wird bei Eisenbahnen ausschließlich die Kreislinie verwendet, während bei Straßen besser andere Kurven, welche einen sanfteren Anschluß an die Tangente gestatten, wie z. B. die Parabel, gewählt werden. Für die Verwendung des Kreisbogens zu den Eisenbahn-Kurven ist der Umstand entscheidend, daß von dem Krümmungshalbmesser die Ueberhöhung des äußeren Schienenstranges und die Spurverweiterung abhängt, für welche man zweckmäßiger Weise gleich bleibende Maße für die ganze oder doch nahezu ganze

Länge der Kurve erhalten muß. Den sanfteren Anschluß der Kurve an die Tangente und den Uebergang von der Schienen-
Ueberhöhung und Spurerweiterung zur normalen Gleislage erreicht man bekanntlich durch die Einlegung von Uebergangskurven.

Wenn sich ein Kreisbogen wegen der gleichen Länge der Tangenten nicht in wünschenswerthem Maße an die Bodengestaltung anschmiegen läßt, kann man zwischen ungleichen Tangenten einen aus zwei Kreisbögen von verschiedenen Halbmessern zusammengesetzten Korbbogen anordnen.

Ist der Halbmesser BM des an CB tangential sich anschließenden Kreisbogens innerhalb der zulässigen Grenzen willkürlich zu $r = MB$ (Fig. 2) gewählt, so findet man den

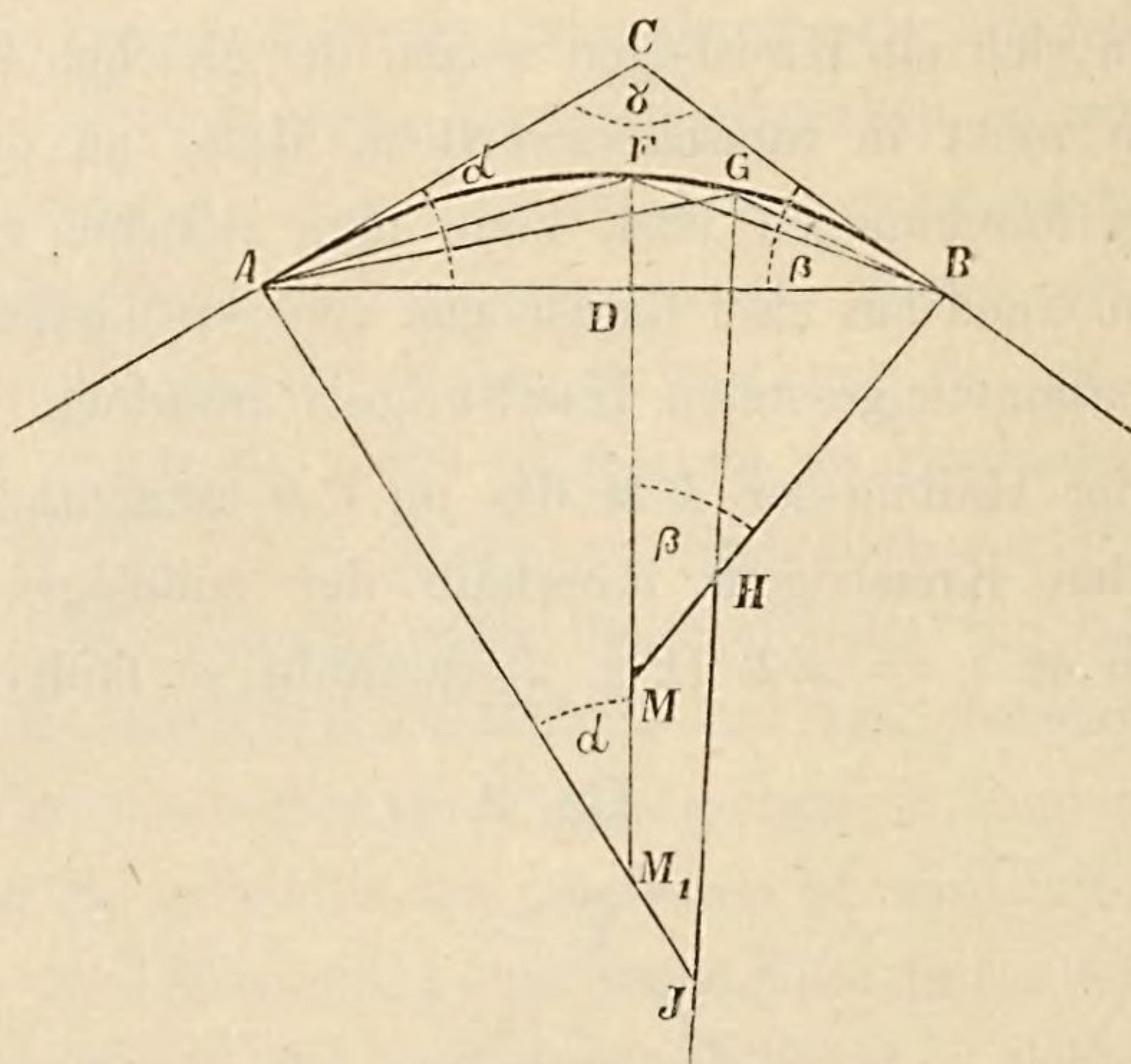
Fig. 2.



Halbmesser des zweiten von der Tangente AC ausgehenden Kreises, wenn man auf der gegen AC von C rechtwinklich gezogenen Linie $AD = MB = r$ aufträgt und von der Mitte E der Verbindungslinie DM eine rechtwinkliche Linie errichtet, deren Schnittpunkt M_1 mit der Verlängerung von AD den Mittelpunkt des von A ausgehenden Kreises liefert.

Verlangt man, daß die Halbmesser der beiden Kreisbögen möglichst wenig von einander verschieden sein sollen, so sind die Winkel $CAB = \alpha$ (Fig. 3) und $CBA = \beta$ durch die

Fig. 3.



Linien AF und BF in zwei gleiche Theile zu theilen, worauf vom Schnittpunkte F der Theilungslinien aus die Linie FD rechtwinklich gegen AB gezogen wird und in den Schnittpunkten mit den Linien AM_1 und BM , welche rechtwinklich gegen die Tangenten AC und BC gezogen sind, die Mittelpunkte M und M_1 der Kreise liefert, deren Halbmesser möglichst wenig von einander verschieden sind.

Zum Beweise beachte man zunächst, daß der Winkel AFB oder AGB , welchen die Sehnen der beiden Kreisbögen einschließen, stets, wie man auch die Halbmesser der Kreise bestimmen mag, die gleiche Gröfse $180 - \frac{1}{2}(\alpha + \beta)$ haben muß. Zieht man daher eine Linie AG unter einem Winkel $\frac{\alpha}{2} - x$ gegen AB , so muß man von B aus eine Linie BG

unter dem Winkel $\frac{\beta}{2} + x$ gegen AB ziehen, um in dem Schnittpunkte G den Berührungspunkt der beiden Kreise des Korbogens zu finden, deren Mittelpunkte J und H man erhält, wenn man in der Mitte der Sehnen AG und BG rechtwinkliche Linien errichtet.

Bezeichnet man den Halbmesser HB mit r und den Halbmesser AJ mit R , so ist:

$$AG = 2 R \sin \left(\frac{\alpha}{2} + x \right)$$

und

$$BG = 2 r \sin \left(\frac{\beta}{2} - x \right)$$

also

$$\frac{r}{R} = \frac{BG \sin \left(\frac{\alpha}{2} + x \right)}{AG \sin \left(\frac{\beta}{2} - x \right)}$$

oder da

$$\frac{BG}{AG} = \frac{\sin \left(\frac{\alpha}{2} - x \right)}{\sin \left(\frac{\beta}{2} + x \right)}$$

auch:

$$\frac{r}{R} = \frac{\sin \left(\frac{\alpha}{2} - x \right) \sin \left(\frac{\alpha}{2} + x \right)}{\sin \left(\frac{\beta}{2} + x \right) \sin \left(\frac{\beta}{2} - x \right)}$$

oder

$$\frac{r}{R} = \frac{\sin^2 \frac{\alpha}{2} - \sin^2 x}{\sin^2 \frac{\beta}{2} - \sin^2 x}.$$

Hiernach wird $\frac{r}{R}$ am größten für $x = 0$, wie zu beweisen war.

Die der gestellten Bedingung entsprechenden Werthe von r und R findet man, wenn $AB = c$ und Winkel $ACB = \gamma$ gesetzt wird, zu:

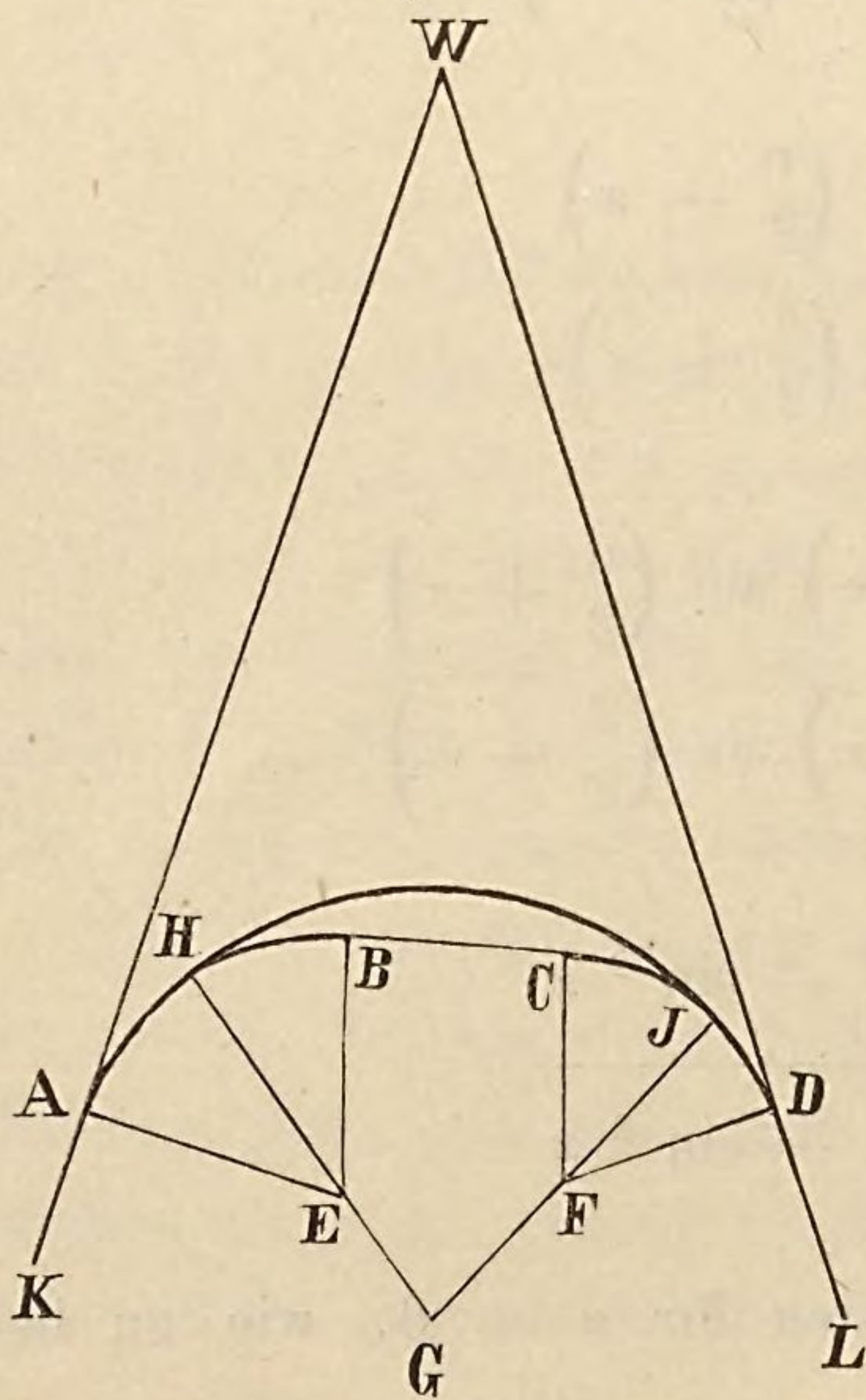
$$r = \frac{c}{2} \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \frac{\beta}{2} \cos \frac{\gamma}{2}}$$

und

$$R = \frac{c}{2} \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\gamma}{2}}.$$

Weichen zwei Kreisbögen von einer kurzen Zwischengeraden nach derselben Seite ab, so soll nach § 17 der Technischen Vereinbarungen, falls die Länge der Zwischengeraden weniger als 40 m beträgt, die Gleisüberhöhung der Kurven

Fig. 4.



auch in der Zwischengeraden durchgeführt werden. Zweckmäßiger wird es aber im Allgemeinen sein, solche kurze Zwischengeraden durch Einlegung eines dritten Kreisbogens, also durch einen Korbogen aus drei Mittelpunkten, zu vermeiden. Nach Fig. 4 wird man, wenn für den mittleren Kreisbogen der Halbmesser R_1 angenommen wird, den Mittelpunkt G desselben durch den Schnitt eines Bogens mit dem Halbmesser $R_1 - R$ aus E mit dem

Bogen vom Halbmesser $R_1 - r$ aus F finden. Zuweilen

wird es auch zweckmäfsig sein, die Tangenten AK und DL der beiden Kreisbögen zum Schnitt in W zu bringen und in den Winkel AWD einen Korbogen aus zwei Mittelpunkten nach dem früher angegebenen Verfahren einzulegen.

Weichen die Kurven in entgegengesetztem Sinne von der Geraden ab, so soll dagegen nach § 3 der Vereinbarungen die Länge der Zwischengeraden zwischen den Ueberhöhungsrampen des äufseren Schienenstranges mindestens 10 m betragen. Diese Bestimmung gilt auch für Nebenbahnen und für Lokalbahnen.

Für die Gotthardbahn*) wurde die Länge der Zwischengeraden zwischen Gegenkurven auf 40 m zwischen den Ueberhöhungsrampen der äufseren Schienen festgestellt. Diese Länge, welche für die schärfsten Kurven gilt, kann bei gröfseren Krümmungshalbmessern geringer sein; bei Kurven von mehr als 2000 m Halbmesser kann die Zwischengerade ganz fortfallen.

§ 20.

Uebergangskurven.

Die Uebergangskurven hängen von dem Mafse der Schienenüberhöhung und von der Länge der Ueberhöhungsrampen ab, weshalb auch hierüber schon bei der Trafsirung Bestimmungen getroffen werden müssen. In § 17 der Technischen Vereinbarungen wird in dieser Beziehung vorgeschrieben:

„In Krümmungen mufs die äufsere Schiene mit Berücksichtigung der gröfsten auf der betreffenden Bahnstrecke gestatteten Fahrgeschwindigkeit um so viel höher als die innere gelegt werden, dafs von den Spurkränzen der Räder

*) Hellwag, die Bahnachse und das Längenprofil der Gotthardbahn. Zürich 1876.

ein thunlichst geringer Angriff auf die inneren Schienenkanten ausgeübt wird.“

„Die Ueberhöhung des äußeren Schienenstranges soll an den Tangentialpunkten des Kreisbogens vollständig vorhanden sein.“

„Die Ueberhöhung muß in den geraden Linien beziehentlich in den parabolischen Uebergangskurven auf eine Länge auslaufen, welche mindestens das 200-fache der Ueberhöhung beträgt.“

Diese Bestimmungen gelten auch für Nebenbahnen und für Lokalbahnen.

Es erscheint zweckmässig mit der Länge der Ueberhöhungsrampen über das durch die Technischen Vereinbarungen festgesetzte geringste Maß hinauszugehen. Bei der Gotthardbahn wurde die Länge dieser Rampen, also auch die Länge der Uebergangskurven, für die Bergstrecken mit Steigungen von 0,026 auf 40 m festgestellt, mithin bei 100 mm Schienen-Ueberhöhung in Kurven von 300 m Halbmesser auf das 400-fache der Schienen-Ueberhöhung, und für die Anschlußlinie mit Steigungen von 0,010 sogar auf 80 m Länge, mithin bei 150 mm Schienen-Ueberhöhung in den Kurven von 300 m Halbmesser auf das $533\frac{1}{3}$ -fache der Schienen-Ueberhöhung. Bei Kurven von größerem Halbmesser wurde die Länge der Uebergangskurven ermäßigt und bei 2000 m Kurven-Halbmesser wurden die Uebergangskurven ganz fortgelassen.

Die durch die „Technischen Vereinbarungen“ geforderte Schienen-Ueberhöhung, durch welche ein thunlichst geringer Angriff auf die innern Schienenkanten erreicht wird, ist ein Maß h , welches sich zum Spurmaß m verhält, wie die Centrifugalkraft C zum Gewicht Q des Wagens, so daß also sein muß:

$$h = \frac{C m}{Q}$$

oder da bei einer Geschwindigkeit von v Metern in der Sekunde und bei einem Krümmungshalbmesser r in Metern

$$C = \frac{Q}{g} \frac{v^2}{r} \text{ ist:}$$

$$h = \frac{m v^2}{g} \cdot \frac{1}{r}.$$

Setzt man das Spurmaß $m = 1,5$ die Beschleunigung der Schwerkraft $g = 10$, so ist also:

$$h = 0,15 v^2 \cdot \frac{1}{r}.$$

Für die größte Geschwindigkeit von 90 Km in der Stunde oder 25 m in der Sekunde, würde also die Schienen-Ueberhöhung $= \frac{94}{r}$, für Bahnen, auf welchen keine Schnellzüge verkehren und eine Geschwindigkeit von 60 Km in der Stunde oder $16\frac{2}{3}$ m in der Sekunde nicht überschritten wird, rund $h = \frac{40}{r}$ und für Lokalbahnen bei 20 Km Geschwindigkeit in der Stunde oder $5\frac{5}{9}$ m in der Sekunde, $h = \frac{4,5}{r}$ sein müssen. Allgemein ist also zu setzen $h = \frac{c}{r}$.

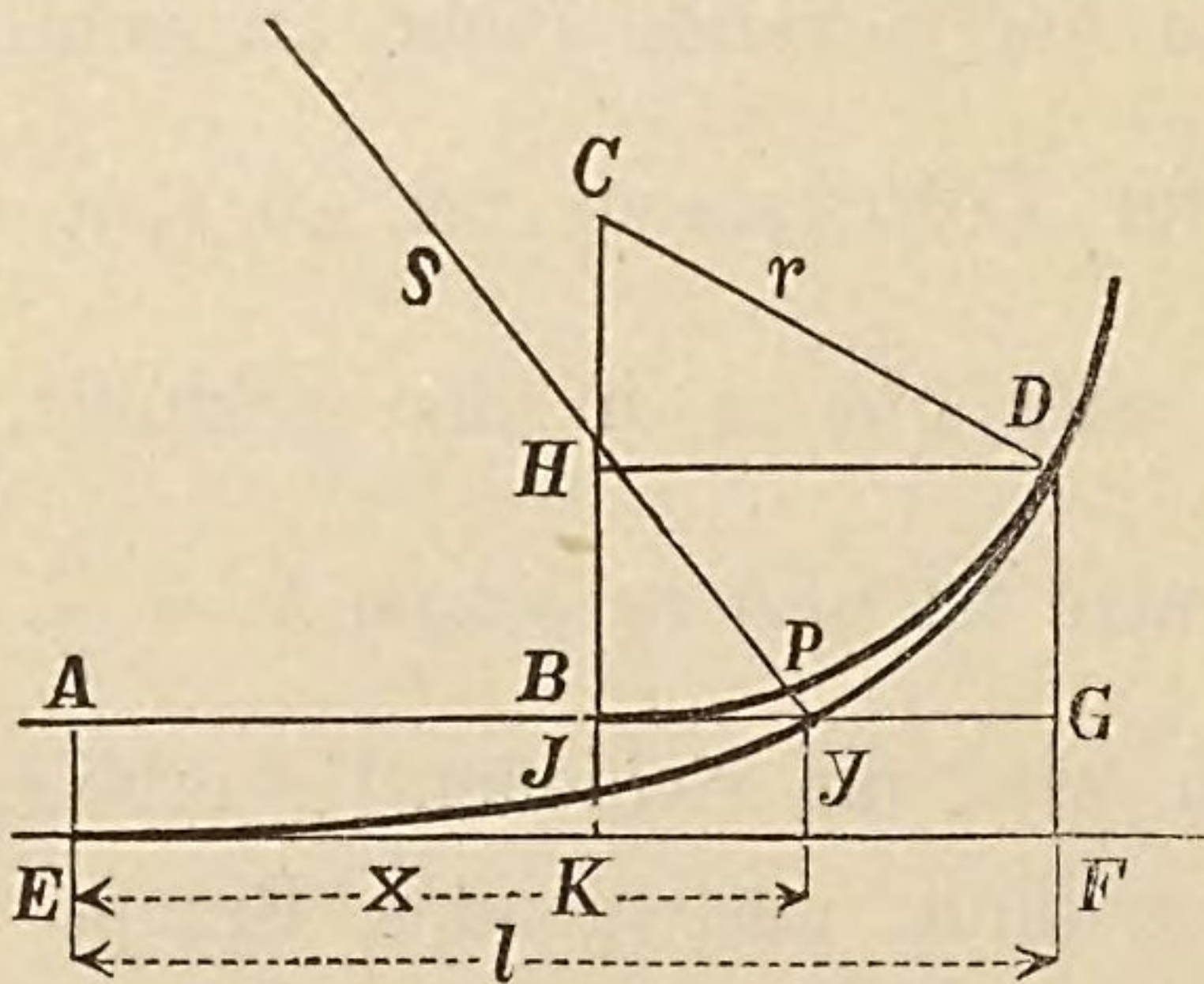
Gewöhnlich wird die Schienen-Ueberhöhung durch Einlegung einer geradlinig ansteigenden Rampe in den äußern Schienenstrang bei unverändert bleibender Höhenlage des inneren Schienenstranges erreicht. Es empfiehlt sich aber mehr, wie auch bei der Gotthardbahn durchgeführt wurde, den äußern Schienenstrang um die Hälfte der Ueberhöhung ansteigen und den innern Schienenstrang um das gleiche Maß niedersteigen zu lassen, um die Höhenlage des Schwerpunkts der Wagen unverändert zu erhalten.

Wird keine Uebergangskurve angeordnet, so fällt die Ueberhöhungsrampe ganz in die anschließende Tangente, so daß am Kurven-Anfang die volle Ueberhöhung erreicht ist,

wird aber eine Uebergangskurve eingelegt, so wird die Ueberhöhungsrampe der Art angeordnet, daß am ursprünglichen Anfangspunkte des Kreisbogens die halbe Ueberhöhung erlangt ist.

Für die Form der Uebergangskurve ist die Bedingung aufzustellen, daß der Krümmungshalbmesser ρ derselben überall der vorhandenen Schienen-Ueberhöhung z nach der Gleichung $z = \frac{c}{\rho}$ entspricht, wonach also am Anfangspunkte der Ueberhöhungsrampe der Krümmungshalbmesser $\rho = \infty$ und an der Stelle, wo die volle Schienen-Ueberhöhung erreicht ist und die Uebergangskurve sich dem Kreisbogen anschließt, $\rho = r$ sein muß.

Fig. 5.



Ist nach Fig. 5 der Mittelpunkt des Kreisbogens BD vom Halbmesser $CB = CD = r$ in C und AB die diesem Kreisbogen sich anschließende Tangente, so muß zur Einlegung der Uebergangskurve $EJPD$ die Kreistangente um ein bestimmtes Maß $AE = BK = GF = u$ nach Außen verschoben werden. Mißt man auf dieser neuen Lage der Tangente die Abscissen x der Uebergangskurve und vernachlässigt den Unterschied zwischen Bogenlänge und Abscissenlänge, was im vorliegenden Falle durchaus zulässig erscheint, so ist im

Punkte P der Uebergangskurve, dessen Abscisse x ist, eine Ueberhöhung $z = \frac{x}{l} h$ erreicht und es muß für den Krümmungshalbmesser in diesem Punkte P die Bedingung:

$$\frac{c}{\varrho} = z = \frac{x}{l} h$$

oder

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{h}{cl} x$$

erfüllt sein. Setzt man zur Abkürzung $\frac{h}{cl} = \frac{1}{q}$ so folgt die einfache Beziehung $\frac{1}{\varrho} = \frac{x}{q}$. Da für Hauptbahnen der Koeffizient c für die Schienen-Ueberhöhung gewöhnlich zwischen 30 und 60 liegt, und das Steigungsverhältniß der Ueberhöhungsrampe $\frac{h}{l}$ zwischen $\frac{1}{200}$ und $\frac{1}{400}$ beträgt, so bewegt sich q für Hauptbahnen zwischen 6000 und 24000, geht für Lokalbahnen aber auf 1000 bis 2000 herab.

Setzt man annähernd $\frac{1}{\varrho} = \frac{d^2 y}{dx^2}$, so erhält man für die Uebergangskurve die einfache Differentialgleichung:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{x}{q}$$

aus deren zweimaliger Integration, wobei die Konstante beide Male gleich Null sein muß, man die Gleichung der Uebergangskurve zu:

$$(Gl. 18) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad y = \frac{1}{6q} x^3$$

findet. Diese kubische Parabel ist allerdings nur eine annähernd zutreffende Form der Uebergangskurve, aber für die praktischen Anforderungen völlig genau genug.

Die End-Ordinate der Uebergangskurve $y_1 = DF$ ist also:

$$y_1 = \frac{1}{6q} l^3$$

während die Ordinate des Kreisbogens an dieser Stelle $y_{11} = DG$, bezogen auf die ursprüngliche Lage der Kreistangente ABG genau genug, da $BG = HD = \frac{1}{2} l$ ist, zu setzen ist:

$$y_{11} = \frac{1}{8} \frac{l^2}{r}$$

wofür, da $\frac{1}{r} = \frac{l}{q}$ ist, auch geschrieben werden kann:

$$y_{11} = \frac{1}{8q} l^3.$$

Es muß also zur Einlegung der Uebergangskurve die ursprüngliche Kreistangente um $u = y_1 = y_{11}$, also um:

$$(Gl. 19) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad u = \frac{1}{24q} l^3$$

nach außen verschoben werden, oder da $l = \frac{q}{r}$ ist, wie ein Maß:

$$(Gl. 20.) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad u = \frac{q^2}{24 r^3}.$$

Die Ordinate JK der Uebergangskurve am ursprünglichen Anfangspunkte des Kreisbogens erhält man für $x = \frac{1}{2} l$ zu:

$$JK = \frac{1}{48q} l^3 = \frac{1}{2} u$$

wonach also die Uebergangskurve am ursprünglichen Anfangspunkte des Kreisbogens in der Mitte zwischen der Lage der Kreistangente und der Tangente des Anfangspunktes der Uebergangskurve liegt.

Ist beispielsweise $c = 50$, $\frac{h}{l} = \frac{1}{300}$, also $q = 15000$ und

die Gleichung der Uebergangskurve $y = \frac{1}{90000} x^3$, so ist

für	$x = 10$	m	$y = 0,011$	m,
„	$x = 20$	„	$y = 0,089$	„
„	$x = 30$	„	$y = 0,300$	„
„	$x = 40$	„	$y = 0,711$	„
„	$x = 50$	„	$y = 1,389$	„
„	$x = 60$	„	$y = 2,400$	„

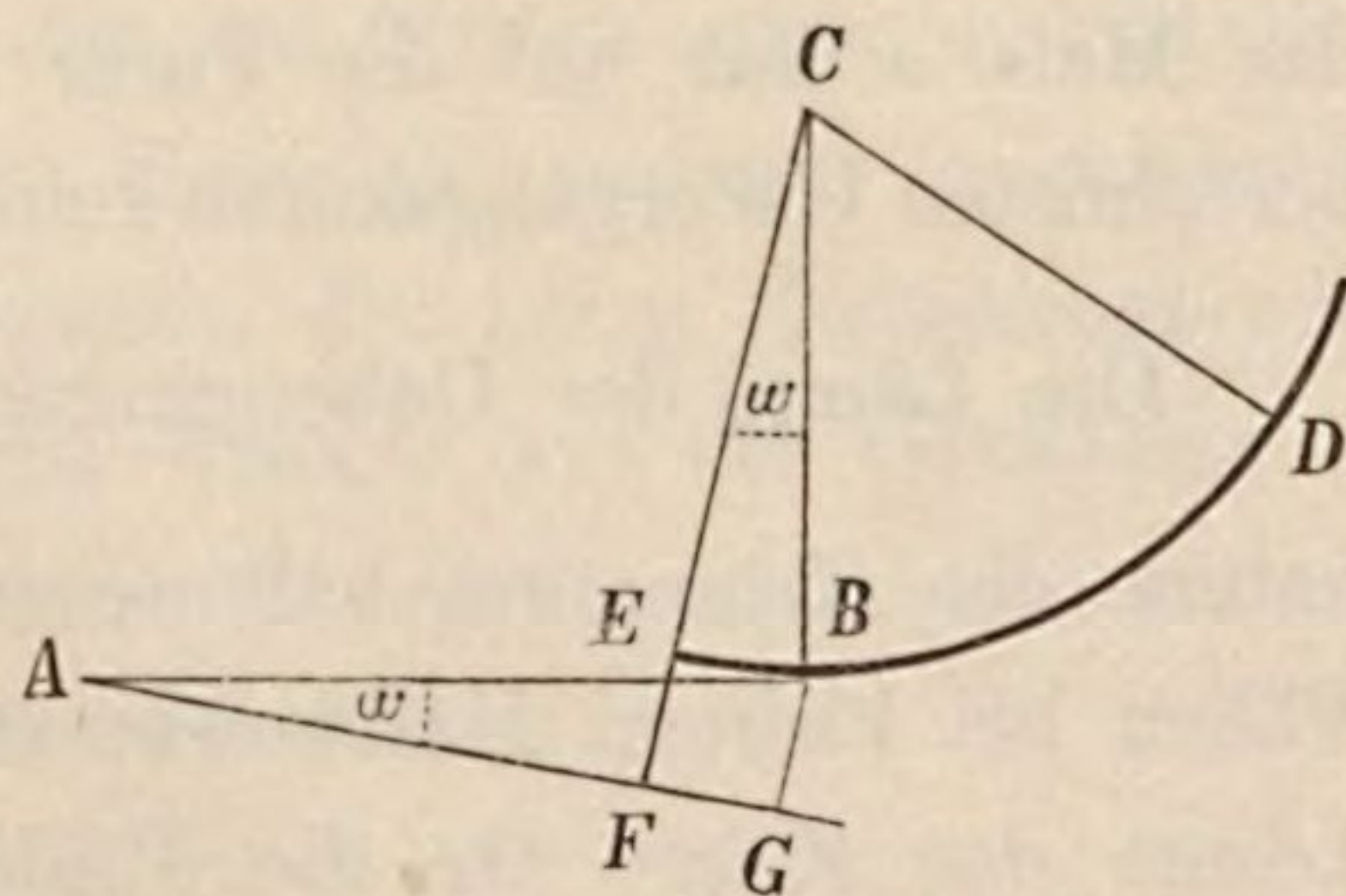
Die Verschiebung der Kreis-Tangente nach außen muß $\frac{1}{360000} l^3$ betragen, also für einen Kreisbogen von 500 m Halbmesser, für welchen $l = 300 \cdot \frac{50}{500} = 30$ m ist, $u = 0,075$ m, für einen Kreisbogen von 375 m Halbmesser also für $l = 300 \cdot \frac{50}{375} = 40$ m, $u = 0,178$, für einen Kreisbogen von 300 m Halbmesser, also für $l = 300 \cdot \frac{50}{300} = 50$ m, $u = 0,347$ m, und für einen Kreisbogen von 250 m Halbmesser, also für $l = 300 \cdot \frac{50}{250} = 60$ m, $u = 0,600$ m.

Statt die Tangente in eine zu ihrer ursprünglichen Richtung parallele Lage zu verschieben, kann man dieselbe zuweilen zweckmäßiger um irgend einen Punkt in entsprechender Weise drehen. Findet die Drehung der Tangente AB (Fig. 6) um den Punkt A statt, so

Fig. 6.

rückt bei einer Drehung um den Winkel ω der Anfangspunkt des Kreisbogens von B nach E um das Maß $r \sin \omega$ vor. EF muß gleich u sein und daher $BG = u + r(1 - \cos \omega)$ oder annähernd

$BG = u + \frac{1}{2} r \sin^2 \omega$. Der Drehungswinkel ω muß der Gleichung



$\sin \omega = \frac{B G}{A B}$ oder wenn $A B = \lambda$ gesetzt wird, der Gleichung:

$$\sin \omega = \frac{u}{\lambda} + \frac{1}{2} \frac{r}{\lambda} \sin^2 \omega$$

genügen, woraus man erhält:

$$\sin \omega = \frac{\lambda}{r} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 u r}{\lambda^3}} \right)$$

wofür in den meisten Fällen, wenn λ nicht zu klein ist, gesetzt werden kann

$$(\text{Gl. 21.}) \quad \sin \omega = \frac{u}{\lambda}$$

wonach dann das Vorrücken des Kreisbogen-Anfangs von B nach $E = \frac{u r}{\lambda}$ ist.

Statt einer Verschiebung oder Drehung der Kreistangente kann aber auch bei unveränderter Lage dieser Tangente eine Verschiebung des Kreismittelpunktes vorgenommen werden, welche in der Halbirungslinie des Centriwinkels α des Kreisbogens um $\frac{u}{\cos \frac{1}{2} \alpha}$ nach Innen geschehen muß, wobei der Anfangspunkt des Kreisbogens um $u \tan \frac{1}{2} \alpha$ vorrückt.

Endlich kann bei unveränderter Lage der Tangente und des Mittelpunktes des Kreises auch eine Verkleinerung des Kreishalbmessers zur Einlegung der Uebergangskurve vorgenommen werden. Die Verkleinerung des Halbmessers r um das Maß u hat auf die Form der nach dem Halbmesser r berechneten Uebergangskurve keinen bemerkenswerthen Einfluß.

Die Länge der Uebergangskurven $l = \frac{q}{r}$ nimmt mit Abnahme des Krümmungshalbmessers r zu, so daß in einzelnen Fällen bei kleinem Halbmesser und kleinem Centriwinkel die Länge der Kurve für die Einlegung der Uebergangskurven nicht ausreicht, zwischen deren Enden auch noch ein Stück

Kreisbogen verbleiben muß, damit die Ueberhöhungsrampen des äußeren Schienenstranges nicht in einer Spitze zusammenreffen. In solchen Fällen bleibt nichts anderes übrig, als den Krümmungshalbmesser des Kreisbogens zu vergrößern, was bei so kurzen Kurven auch ohne Schwierigkeit wohl stets durchführbar sein wird. Wäre z. B. der Koeffizient $q = 15000$, der Centriwinkel der Kurve $\alpha = 8^\circ$, so wäre bei 300 m Kurvenhalbmesser die Länge des Kreisbogens 42 m, die erforderliche Länge der Uebergangskurve, von welcher zwei halbe Längen an Stelle des Kreisbogens treffen, aber 50 m. Durch eine Vergrößerung des Krümmungshalbmessers auf 350 m würde die Länge des Kreisbogens 49 m, die Länge der Uebergangskurve 42,9 m, so daß jetzt zwischen den Spitzen der Ueberhöhungsrampen ein kreisbogenförmiges Stück von 6,1 m verbleibt. Die Vergrößerung des Krümmungshalbmessers von 300 auf 350 m würde aber bei unveränderter Lage der Tangenten nur eine Verschiebung des Bogenscheitels um 0,135 m nach Innen zur Folge haben, also wohl kaum auf Schwierigkeiten stoßen können.

Zwischen Gegenkurven muß mit Rücksicht auf die Uebergangskurven eine Zwischengerade angeordnet werden, welche etwas länger, etwa $1\frac{1}{2}$ mal so lang als die durchschnittliche Länge der beiden Uebergangskurven ist. Bleibt die Zwischengerade unverändert in der Lage als Tangente der beiden Kreisbögen, so müssen entweder die Mittelpunkte der beiden Kreisbögen verschoben oder deren Halbmesser verkleinert werden. Einfacher ist es meistens, die kurze Zwischengerade um einen Winkel ω zu drehen, welcher aus der Gleichung

$$\lambda \sin \omega = u + u_1 + (r + r_1) (1 - \cos \omega)$$

erhalten wird, wofür gesetzt werden kann:

$$\lambda \sin \omega = u + u_1 + \frac{1}{2} (r + r_1) \sin^3 \omega$$

oder meistens genau genug:

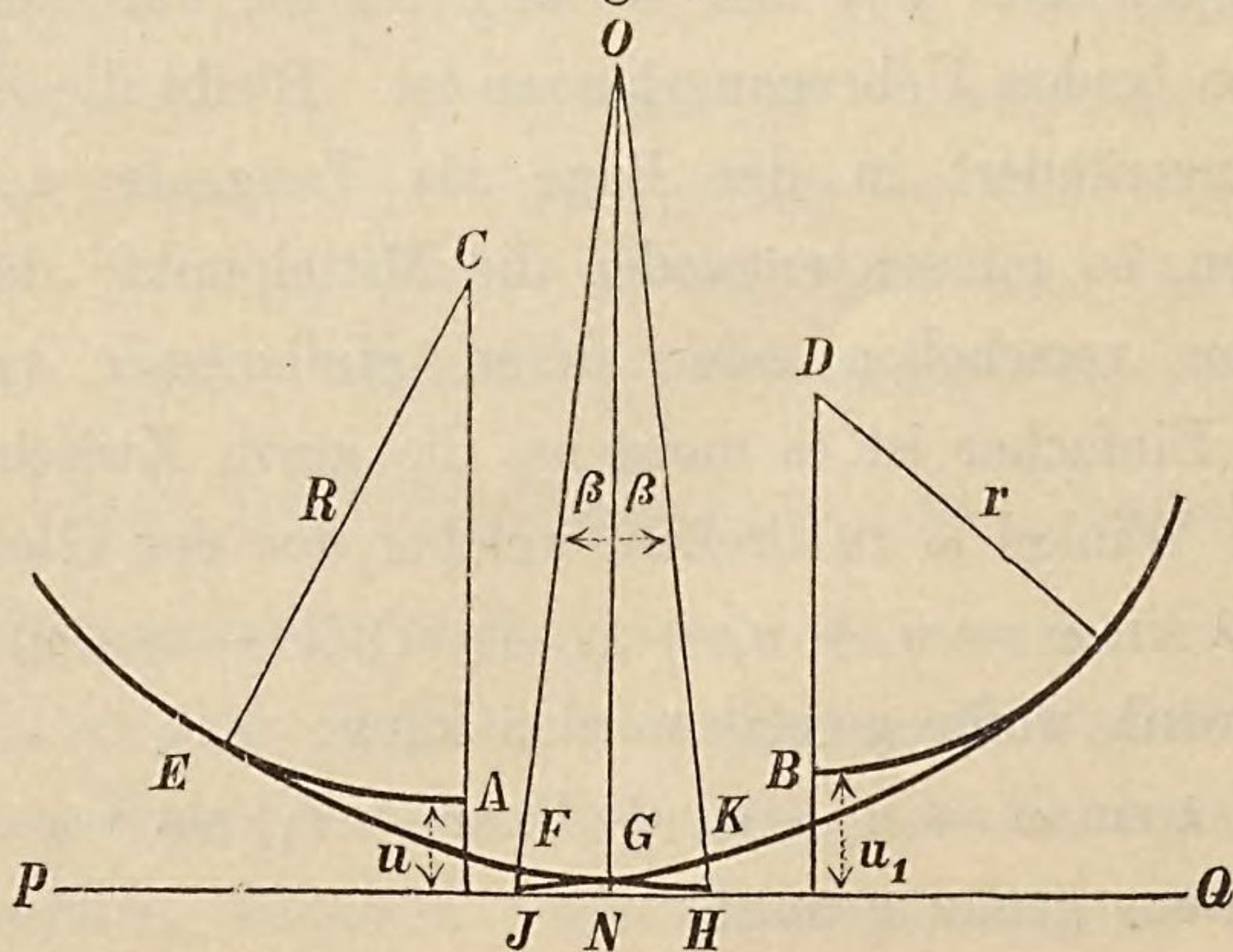
$$(Gl. 22.) \quad \sin \omega = \frac{u + u_1}{\lambda}$$

wobei λ die Länge der Zwischengeraden zwischen den ursprünglichen Anfangspunkten der Kreisbögen, u und u_1 die erforderlichen Verschiebungen der Tangenten der beiden Kreisbögen und r und r_1 die Halbmesser der Kreisbögen bezeichnen. Die Anfangspunkte der Kreisbögen rücken durch die Drehung der Zwischengeraden einander um die Masse $r \sin \omega$ und $r_1 \sin \omega$ näher (vergl. Fig. 6).

Sind beispielsweise $r = 300$ und $r_1 = 250$, sei $q = 15000$ also $u = 0,347$ und $u_1 = 0,600$, ferner $\lambda = 75$, so ist $\sin \omega = 0,126$ und daher die Verkürzung der Zwischengeraden $250 \cdot 0,126 + 300 \cdot 0,126 = 6,93$ m, so daß zwischen den Anfangspunkten der 50 und bzw. 60 m langen Uebergangskurven nur eine Gerade von $75 - \frac{1}{2} (50 + 60) - 6,93 = 13,07$ m Länge verbleibt.

Weichen zwei Kreisbögen von den Halbmessern R und r nach der gleichen Seite von einer Zwischengeraden ab, so können bei geringer Länge der letzteren die Uebergangskurven unter einem stumpfen Winkel zum Schnitt kommen, wie in Fig. 7 dargestellt ist. Dieser Knickpunkt läßt sich aber durch

Fig. 7.



einen Kreisbogen ausrunden, innerhalb dessen auch die Schienen-
 Ueberhöhung unverändert bleibt. Zunächst werden die Mittel-
 punkte der Kreisbögen C und D von der Richtung der Zwischen-
 geraden PQ um die Mafse $u = \frac{1}{24} \frac{q^2}{R^3}$ und bezw. $u_1 = \frac{1}{24} \frac{q^2}{r^3}$
 abgerückt. Der Schnittpunkt G der beiden Uebergangskurven
 fällt dann in die Mitte zwischen die Anfangspunkte J und H
 derselben, welche einen Abstand $JH = x$ von einander haben
 mögen. Der Krümmungshalbmesser der Uebergangskurven ist
 in den über den Abscissenpunkten J und H liegenden Kurven-
 punkten F und K der gleiche, nämlich $\varrho = \frac{q}{x}$; ebenso ist der
 Neigungswinkel der Tangente in diesen Kurvenpunkten, also
 auch der Winkel des Krümmungshalbmessers gegen die Ver-
 tikale der gleiche, nämlich $\tan \beta = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{2} \frac{x^2}{q}$. Die Pro-
 jektion des Krümmungshalbmessers auf die Abscissen-Achse
 $\varrho \sin \beta$ kann genau genug gesetzt werden gleich $\varrho \tan \beta =$
 $\frac{q}{x} \cdot \frac{1}{2} \frac{x^2}{q} = \frac{1}{2} x$. Es treffen also die Krümmungshalbmesser
 ϱ der beiden Kurvenpunkte F und K in einem Punkte O zu-
 sammen, aus welchem man einen Kreis beschreiben kann, der
 sich in den Punkten F und K tangential an die Uebergangs-
 kurven anschließt. Auf die Länge dieses Ausrundungsbogens
 werden die Ueberhöhungsrampen der Schienen, welche nicht
 bis zu ihrem Fußpunkte auslaufen, durch eine Strecke mit
 gleichbleibender Schienen-Ueberhöhung verbunden.

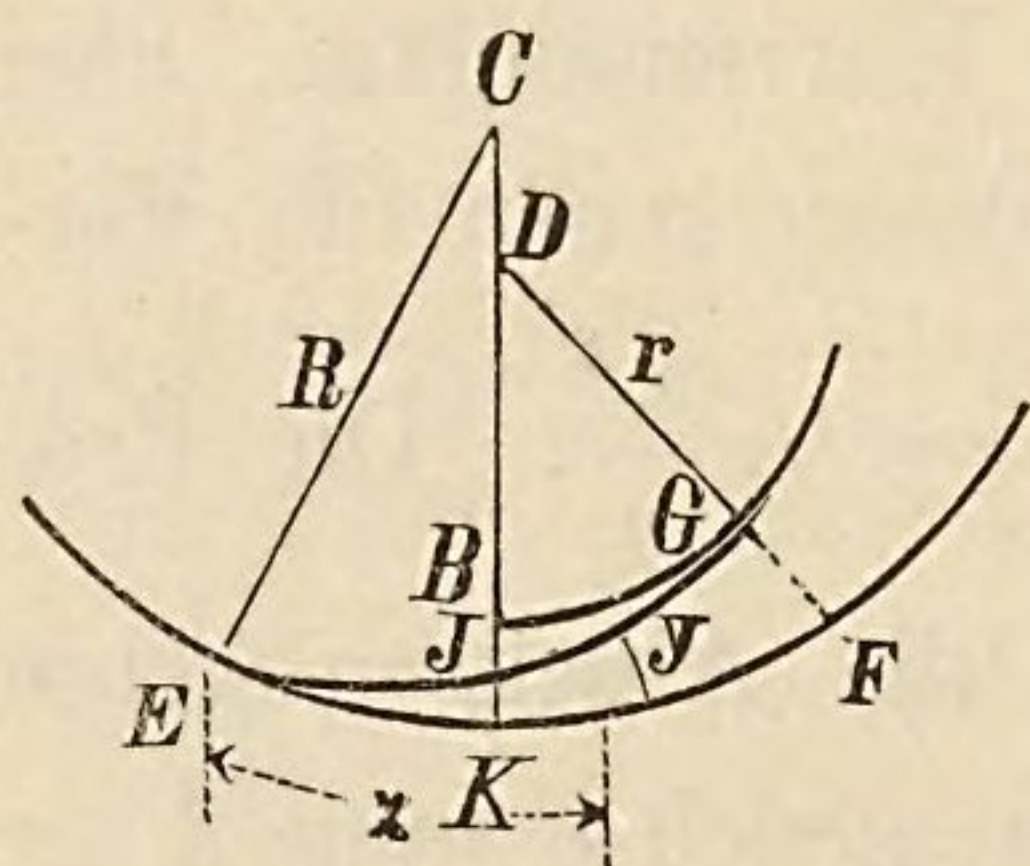
Mit zunehmender Verkürzung der Zwischengeraden rückt
 der Punkt F , in welchem der Ausrundungsbogen zwischen den
 Uebergangskurven beginnt, dem Punkte E näher, in welchem
 sich die Uebergangskurve dem Kreisbogen vom Halbmesser R
 anschließt, bis im Grenzfall beide Punkte zusammenfallen,
 der Mittelpunkt O des Ausrundungsbogens in den Mittelpunkt

C des Kreisbogens fällt und der Halbmesser des Ausrundungsbogens gleich R wird. Es bleibt dann nur eine einzige Uebergangskurve bestehen, welche von dem Kreise mit dem Halbmesser R die Ueberleitung zu dem Kreise mit dem Halbmesser r , also die Uebergangskurve zwischen den beiden Kreisen eines Korbogens bildet.

Die Länge der Uebergangskurve ist dann $q \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)$.

Der Anfangspunkt B des kleineren Kreises aus dem Mittelpunkte D mit dem Halbmesser r (Fig. 8) muß dann gegen

Fig. 8.



den Endpunkt K des größeren Kreises aus dem Mittelpunkte C mit dem Halbmesser R um das Maß $BK =$

$$(Gl. 23.) \quad u = \frac{q^2}{24} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)^3$$

zurückspringen und die Uebergangskurve EJG tritt mit der Hälfte EJ ihrer Länge an Stelle des Kreises von größerem Halbmesser und mit der anderen Hälfte JG an Stelle des Kreises mit dem kleineren Halbmesser. Die Ordinaten der Uebergangskurve werden nach Gleichung 18:

$$y = \frac{1}{6q} x^3$$

von dem größeren Kreise, auf welchem von E ab die Abscissen gemessen werden, nach Innen abgesteckt. Am Uebergangspunkte der beiden Kreise liegt die Uebergangskurve im Punkte J in der Mitte zwischen dem Abstände u der beiden Kreise.

Wäre beispielsweise der Halbmesser $r = 300$, $R = 1000$ und der Koeffizient $q = 15000$, so müßte $n = \frac{15000^2}{24} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{1000} \right)^3 = 0,119$ m und die Länge der Uebergangskurve =

$15000 \frac{1}{300} - \frac{1}{1000} = 35$ m sein. Die von dem Kreisbogen mit dem Halbmesser 1000, auf welchem die Abscissen gemessen werden, nach Innen abzusteckenden Ordinaten hatten nach Gl. 18 die Gröfse

$$y = 0,011 \text{ m für } x = 10 \text{ m,}$$

$$y = 0,060 \text{ m für } x = 17\frac{1}{2} \text{ m,}$$

$$y = 0,174 \text{ m für } x = 25 \text{ m,}$$

$$y = 0,477 \text{ m für } x = 35 \text{ m.}$$

Helmert, welcher in dem Buche: „Die Uebergangskurven der Eisenbahngleise“*) die bei Anordnung und Berechnung der Uebergangskurven möglichen Fälle in erschöpfender Weise behandelt, giebt allerdings auch für den Fall, daß die Kreisbögen des Korbbogens sich unmittelbar tangential aneinander schliessen, zwei Verfahrungsarten zur Einlegung von Uebergangskurven an. Die hierbei entstehenden Uebergangskurven sind aber für die praktische Verwendung wenig empfehlenswerth, da sie sehr lang sind und sich aus drei verschiedenen Strecken zusammensetzen. Es weicht nämlich entweder die Uebergangskurve von dem Kreise größeren Halbmessers nach Ausen unter Zunahme des Krümmungshalbmessers und Abnahme der Schienen-Ueberhöhung ab, geht dann in einen Kreisbogen mit größerm Halbmesser als R und mit gleichbleibender Schienenüberhöhung über und aus diesem wieder unter Abnahme des Krümmungshalbmessers und Zunahme der Schienen-Ueberhöhung in den Kreisbogen vom Halbmesser r , oder es weicht die Uebergangskurve aus dem Kreise vom Halbmesser r nach Innen unter Abnahme des Krümmungshalbmessers und Zunahme der Schienen-Ueberhöhung ab, geht dann in einen Kreisbogen von kleinerem Halbmesser als r und

*) Aachen 1872 bei J. A. Mayer.

mit gleichbleibender Schienen-Ueberhöhung über und aus diesem wieder unter Zunahme des Krümmungshalbmessers und Abnahme der Schienen-Ueberhöhung zu dem Kreise vom Halbmesser R . Offenbar verdient für die praktische Verwendung eine Uebergangskurve den Vorzug, welche von dem Kreise mit kleinerem Halbmesser zu dem Kreise mit größerem Halbmesser unter stetiger Zunahme des Krümmungshalbmessers, welcher weder kleiner als r noch größer als R wird, und unter, im Längenschnitt gradlinig abnehmender Schienenüberhöhung überleitet. Diese einfachste und zweckmäßigste Anordnung erreicht man, wenn man in der angegebenen Weise nach Gl. 23 den Anfangs- und Endpunkt der beiden Kreisbögen in der Richtung ihrer Halbmesser gegeneinander verschiebt.

§ 21.

Wahl der Krümmungshalbmesser.

Ueber die Gröfse der Krümmungshalbmesser enthalten die „Technischen Vereinbarungen“ in § 3 die folgenden Bestimmungen:

„Die Halbmesser der Kurven in freier Bahn sollen möglichst groß gewählt werden. Halbmesser unter 300 m sind nur ausnahmsweise zulässig. Kurven von weniger als 180 m Halbmesser sind unzulässig. In den steileren Steigungen einer Bahn sollen möglichst flache Kurven angewendet und die Steigungswechsel thunlichst in die Gerade gelegt werden.“

Diese Bestimmungen gelten auch für die Nebenbahnen, wogegen durch die Grundzüge für den Bau und Betrieb der Lokalbahnen bestimmt wird:

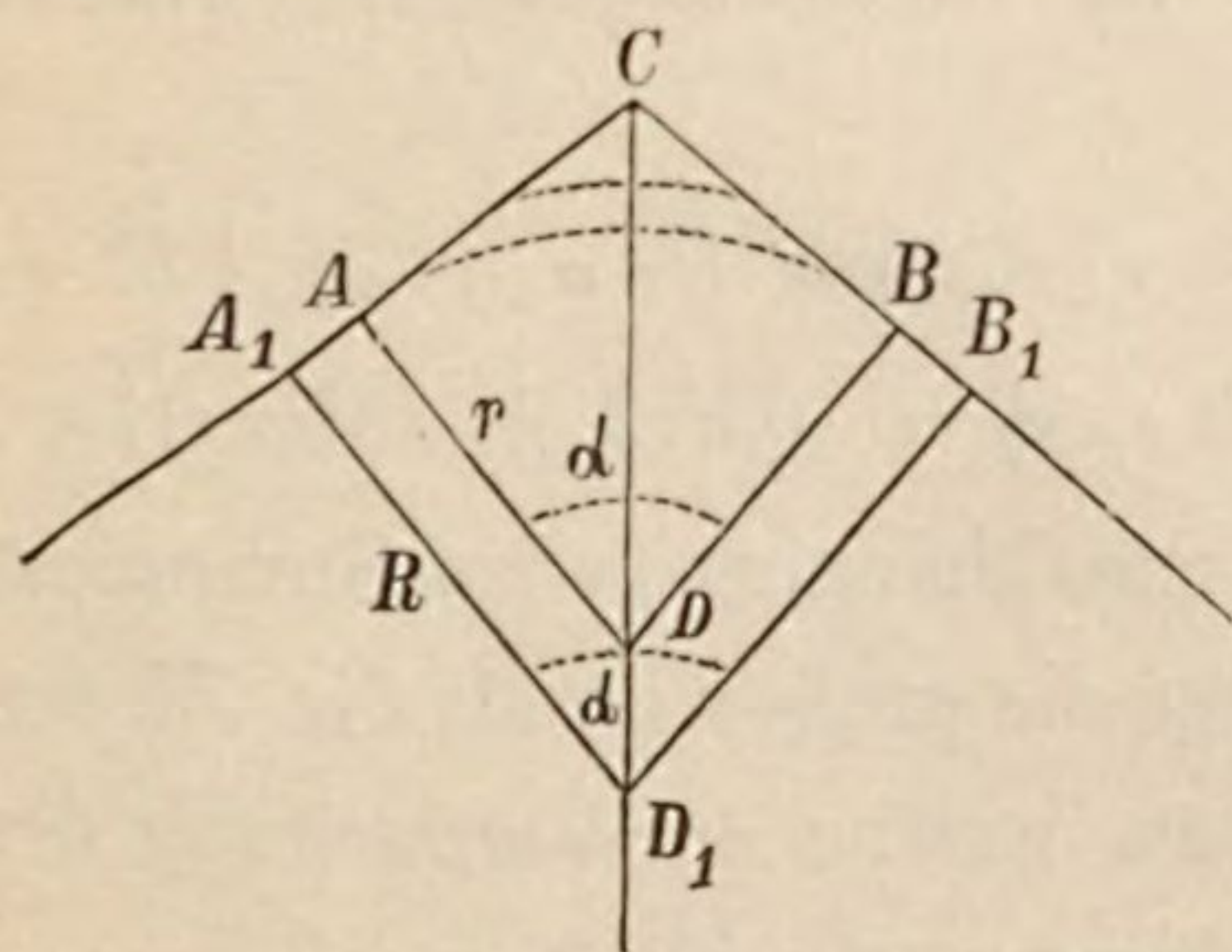
„Der Halbmesser der Krümmungen soll bei Normalspurbahnen, auf welche Hauptbahnwagen übergehen, in der Regel

nicht kleiner als 150 m sein, keinesfalls aber weniger als 100 m betragen, bei Bahnen mit schmaler Spur eine der Spurweite und den Betriebsmitteln angemessene Grösse haben und in der Regel bei 1 m Spurweite nicht kleiner als 70 m, bei 0,75 m Spurweite nicht kleiner als 50 m sein. Bei normalspurigen Bahnen mit eigenartigen Betriebsmitteln kann bei entsprechender Bauart der letzteren auch ein kleinerer Halbmesser zur Anwendung kommen.“

Zur Beurtheilung der Betriebskosten, welche die Kurven verursachen, muß man unterscheiden, ob dieselben in Strecken mit schädlicher oder mit unschädlicher Steigung liegen, da, wie im § 10 hervorgehoben wurde, die Betriebskostenvermehrung durch die Kurven in schädlichen Steigungen, wo sie nur in einer Fahrrichtung vermehrten Dampfverbrauch veranlassen, bei sonst gleichen Umständen nur halb so groß ist als in unschädlichen Steigungen.

Wird der Halbmesser einer Kurve, deren Centriwinkel α ist, von r auf R vergrößert, so wächst die Länge der Kurve von αr auf αR , die zur Ueberwindung des Kurven-Widerstandes erforderliche Arbeit bleibt aber unverändert $= \frac{c}{r} \cdot \alpha r = \frac{c}{R} \alpha R = c\alpha$. Die Trasse erfährt aber nach Fig. 9 eine Verkürzung:

Fig. 9.



$$\lambda = (R - r) (2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha - \alpha).$$

Sind die Unterhaltungskosten für den Km $= U$, die Betriebskosten für den Nutzentonnen-Kilometer nach Gl. 10 § 13 in Pfennigen:

$$k = 0,56 + 23^{1/3} s + 39^{2/3} s_1$$

und für den Personen-Kilometer nach Gl. 11 § 13

in Pfennigen:

$$k = 0,973 + 10^{2/3} s + 29^{1/3} s_1$$

in welchen Formeln bekanntlich s die maßgebende Steigung der Bahn und s_1 die betreffende Steigung der in Rechnung gezogenen Strecke bezeichnen. Werden T Tonnen Nutzlast und P Personen im Jahre befördert, so sind die Unterhaltungs- und Betriebskosten auf der flacheren Kurve von A_1 bis B_1 , deren Länge l_1 und Steigung s_1 ist, abgesehen von dem Kurven-Widerstande:

$$S_1 = l_1 \{ U + T(0,56 + 23^{1/3} s + 39^{2/3} s_1) + P(0,973 + 10^{2/3} s + 29^{1/3} s_1) \}$$

oder wenn der Höhen-Unterschied zwischen A_1 und $B_1 = h$, also $l_1 s_1 = h$ ist:

$$S_1 = l_1 \{ U + T(0,56 + 23^{1/3} s) + P(0,973 + 10^{2/3} s) \} + (39^{2/3} T + 29^{1/3} P) h.$$

Die gleichen Kosten auf der Strecke $A_1 A B B_1$ mit der schärferen Kurve sind:

$$S_{II} = l_{II} \{ U + T(0,56 + 23^{1/3} s) + P(0,973 + 10^{2/3} s) \} + 39^{2/3} T + 29^{1/3} P h$$

mithin ist die Ersparung für die flachere Kurve:

$$(Gl. 24.) \quad E = (l_{II} - l_1) \{ U + T(0,56 + 23^{1/3} s) + P(0,973 + 10^{2/3} s) \}$$

oder wenn für die Abkürzung der früher angegebene Werth $\lambda = l_{II} - l_1$ eingesetzt wird:

$$(Gl. 25.) \quad E = (R - r) (2 \tan^{1/2} \alpha - \alpha) \{ U + T(0,56 + 23^{1/3} s) + P(0,973 + 10^{2/3} s) \}.$$

Diese Ersparung ist also ganz unabhängig von dem Steigungsverhältnisse der Strecke. So lange sie größer ist als die Zinsen der Vermehrung der Anlagekosten, welche bei Verflachung der Kurve eintritt, ist diese Verflachung vortheilhaft.

Wäre beispielsweise $U = 3000 \text{ Mk.} = 300\,000 \text{ Pf.}$,

$T = 600\,000$ Tonnen, $P = 400\,000$ Personen, $s = 0,01$, $\alpha = 60^\circ$, also das Bogenmaß $\alpha = 1,047$ und $\tan \frac{1}{2} \alpha = 0,577$, so wäre E in Mark, wenn die Kurvenhalbmesser R und r in Metern angegeben werden, rund:

$$E = 1,29 (R - r) \text{ Mark.}$$

Bei Anwendung eines Halbmessers von $R = 400$ m statt eines solchen von $r = 300$ m würden also jährlich durch die eintretende Verkürzung der Linie, welche 10,7 m beträgt, an Unterhaltungs- und Betriebskosten 129 Mk. erspart. Würden die Anlagekosten durch die Verflachung der Kurve um weniger als $\frac{129}{0,04} = 3225$ Mk. vermehrt, so verdiente diese flachere Kurve von 400 m Halbmesser den Vorzug.

Wäre der Centriwinkel der Kurve 90° statt 60° , wäre ihre Länge also $1\frac{1}{2}$ mal größer, so würde die Ersparung bei Vergrößerung des Krümmungshalbmessers das Vierfache, wäre aber der Centriwinkel nur 30° statt 60° , die Kurve also nur halb so lang, so ginge die Ersparung auf $\frac{1}{8}$ zurück. Es ist daher die Verflachung der Kurven von größerem Centriwinkel von weit erheblicherer Bedeutung, ebenso ist auch bei stärkerem Verkehr oder bei größerem Werthe der maßgebenden Steigung eine Verflachung der Kurven in erhöhtem Maße geboten.

Bei der vorstehenden Rechnung hat der Umstand nicht berücksichtigt werden können, daß mit der Verkleinerung des Krümmungshalbmessers die Abnutzung der Schienen und der Radreifen in starkem Maße zunimmt, weil es zur Zeit in dieser Beziehung noch an benutzbaren Beobachtungen fehlt. Jedenfalls ist der Nutzen einer Verflachung der Kurven in Berücksichtigung dieses Umstandes weit erheblicher als der, nach der entstehenden Verkürzung der Linie berechnete.

Auf Gebirgsstrecken, bei denen eine künstliche Längen-Entwicklung der Trasse vorgenommen werden muß, kommt bei Verringerung des Kurvenhalbmessers auch allein die Ersparung an Abnutzung der Schienen und Radreifen in Betracht, da die Verkürzung der Trasse, welche durch Verkleinerung des Krümmungshalbmessers entsteht, an anderer Stelle wieder ausgeglichen werden muß.

Da auf den Gebirgsrampen die Zugkraft der Lokomotive voll zur Ausnutzung gelangt, so muß die in gerader Linie vorhandene maßgebende Steigung s in Kurven um das Maß des Kurvenwiderstandes $c = \frac{1}{r}$ vermindert werden. Durch die Kurve, deren Länge $\lambda = \alpha r$ ist, wird also eine Höhe $h_1 = \alpha r \left(s - \frac{1}{r} \right) = \alpha r s - \alpha = \lambda s - \alpha$ gewonnen. Da aber λs die Höhe h ist, welche erstiegen werden würde, wenn die Längen-Erstreckung der Kurve in gerader Linie läge, so folgt, daß die durch die Kurve gewonnene Höhe h_1 um das Maß des Centriwinkels α , in Bogenmaß ausgedrückt, kleiner ist als bei gleich langer Strecke in gerader Linie.

Verkleinert man das Steigungsverhältniss s der geraden Linie in den Kurven um das Maß des Kurven-Widerstandes, so ist die zur Ersteigung einer gegebenen Höhe erforderliche Länge der Trasse unabhängig von den Krümmungshalbmessern. Die Länge der Trasse wird, wenn die Centriwinkelsumme aller Kurven in Bogenmaß $= \alpha$ ist, um $\frac{\alpha}{s}$ Meter größer oder, wenn die Centriwinkelsumme α Grad beträgt, um $0,000018 \frac{\alpha}{s}$ Kilometer größer. Die Krümmungshalbmesser der Kurven wird man daher lediglich

so zu wählen haben, daß die Summe der Zinsen des Anlagekapitals der Bahn und der Abnutzung der Schienen und Radreifen am kleinsten wird.

Es hat aber für die Trassirung wie für den Betrieb Unbequemlichkeiten, am Anfange und Ende jeder Kurve Gefällwechsel zu haben, was dahin führt, daß man oft in den flacheren Kurven das Neigungsverhältniß der geraden Linie unverändert durchführt. Zur Bestimmung der maßgebenden Steigung ist in diesem Falle der Widerstand der schärfsten Kurven, in welchen das Steigungsverhältniß der geraden Linie noch unverändert durchgeführt wird, dem Steigungsverhältnisse hinzuzufügen. Der hierbei in Rechnung kommende Krümmungshalbmesser werde der Normalradius oder der maßgebende Krümmungshalbmesser genannt. In den Kurven von kleinerem Halbmesser findet dann nur eine Ermäßigung des Steigungsverhältnisses um den Unterschied des Widerstandes in der betreffenden Kurve und in Kurven vom maßgebenden Krümmungshalbmesser statt. Wäre z. B. eine Steigung von 0,025 noch in Kurven von 500 m Halbmesser durchgeführt, deren Widerstand $c = \frac{1}{500} = 0,002$ ist, so wäre die maßgebende Steigung $s = 0,025 + 0,002 = 0,027$. In schärferen Kurven, z. B. von 400 m Halbmesser, wäre die Steigung dann auf $0,027 - \frac{1}{400} = 0,0245$ und in Kurven von 300 m auf $0,027 - \frac{1}{300} = 0,0237$ zu ermäßigen.

Der Vortheil einer Verminderung der Zahl der Gefällwechsel, welcher durch Annahme eines Normalradius erreicht wird, muß aber unverhältnißmäßig theuer erkaufte werden.

Kann die Trasse ohne künstliche Längen-Entwicklung durchgeführt werden, so hat die Feststellung eines Normal-

radius von r_0 Metern die Erhöhung der maßgebenden Steigung um $\frac{1}{r_0}$ zur Folge, also nach den für die Betriebskosten in § 13 entwickelten Formeln für T Tonnen-Nutzlast und P Personen im Jahre für jeden Km der Strecke eine Vermehrung der Betriebskosten um:

$$V = \frac{1}{100} \left(29^{1/3} T + 10^{2/3} P \right) \cdot \frac{1}{r_0} \text{ Mark.}$$

Beispielsweise also für $T = 400\,000$, $P = 300\,000$ und $r_0 = 500$ von rund 300 Mark für jeden Km.

Noch kostspieliger wird die Annahme eines Normalradius, wenn eine gegebene Höhe h durch künstliche Längen-Entwicklung erstiegen werden muß.

Wird die stärkste Steigung s_1 noch in dem Normalradius r_0 durchgeführt, so wird die maßgebende Steigung $s = s_1 + \frac{1}{r_0}$. In den geraden Linien, deren Gesamtlänge l_1 sein mag, wird eine Höhe $h_1 = s_1 l_1$ gewonnen, während man in denselben die maßgebende Steigung s hätte anwenden und die Höhe $h = s l_1$ hätte ersteigen können. In einer Kurve, deren Halbmesser r_1 größer als der Normalradius r_0 ist und deren Centriwinkel in Geraden α_1 beträgt, wird die Höhe $h_{11} = 0,000018 \alpha_1 r_1 s_1$ Km erstiegen, während man die Steigung $s - \frac{1}{r_1}$ anwenden und eine Höhe $h_{111} = 0,000018 \alpha_1 r_1 \left(s - \frac{1}{r_1} \right)$ hätte gewinnen können. Man konnte in dieser Kurve also mehr an Höhe gewinnen $0,000018 \alpha_1 r_1 (s - s_1) - 0,000018 \alpha_1$ also wenn man die Länge dieser Kurve $0,000018 \alpha_1 r_1 = l_{11}$ setzt: $l_{11} (s - s_1) - 0,000018 \alpha_1$. In den geraden Linien konnte an Höhe $l_1 (s - s_1)$ mehr gewonnen werden. Setzt man die Centriwinkelsumme aller

Kurven, welche grössere Halbmesser als der Normalradius haben $= \alpha$ und die Länge aller dieser Kurven und aller geraden Linien $= l$, so wäre, wenn man auf die Annahme eines Normalradius verzichtete, eine Mehrhöhe $h_0 = l(s - s_1) - 0,000018 \alpha$ erreicht worden. Da es sich um die Ersteigung einer gegebenen Höhe handelt, so hätte also die Entwicklungslänge um ein dieser Mehrhöhe entsprechendes Maß $\lambda = \frac{h_0}{s}$ also um:

$$\lambda = l \left(1 - \frac{s_1}{s} \right) - 0,000018 \frac{\alpha}{s}$$

verkürzt werden können. Für diese Länge hätten jährlich die Zinsen des Anlagekapitals, die Bahn-Unterhaltungskosten und die von der Steigungshöhe unabhängigen Betriebskosten erspart werden können. Die letzteren betragen für T Tonnen Nutzlast und P Personen in Mark für den Km:

$$\frac{T}{100} (0,56 + 23^{1/3} s) + \frac{P}{100} (0,973 + 10^{2/3} s).$$

Im Ganzen hätte demnach, wenn statt Annahme eines Normalradius in allen Kurven die maßgebende Steigung um das Maß des Kurvenwiderstandes verringert wäre, erspart werden können:

$$(Gl. 26.) E = A i + U + \frac{T}{100} (0,56 + 23^{1/3} s) + \frac{P}{100} (0,973 + 10^{2/3} s) \left\{ \left[l \left(1 - \frac{s_1}{s} \right) - 0,000018 \frac{\alpha}{s} \right] \right\}$$

Sei beispielsweise eine Steigung $s_1 = 0,025$ in Kurven von 500 m Halbmesser noch unverändert durchgeführt, also die maßgebende Steigung $s = 0,025 + \frac{1}{500} = 0,27$, wäre die Gesamtlänge der geraden Strecken und aller Kurven mit größerem Halbmesser als 500 m $l = 15$ Km, die Centriwinkelsumme dieser Kurve 400° , der Verkehr gleich 400 000 T Nutzlast und 300 000 Personen, das kilometrische Anlagekapital $A = 300\,000$ Mk., die kilometrischen Unterhaltungs-

kosten der Bahn $U = 3000$ Mk. und der Zinsfuß $i = 0,04$, so würde nach Gl. 26 folgen:

$$E = 19884 \text{ Mark.}$$

Gestützt auf diese Rechnungen kann gewiß mit Recht behauptet werden, daß die Annahme eines Normalradius fehlerhaft ist, daß vielmehr die für die gerade Linie festgesetzte größte Steigung in den Kurven um das Maß des Kurvenwiderstandes ermäßigt werden sollte.

Allerdings muß hierzu bemerkt werden, daß für sehr flache Kurven die Rechnungen nicht mehr ganz zutreffend sind, da bei diesen der Kurven-Widerstand durch den Koeffizienten $\frac{1}{r}$ zu groß bemessen wird. Bei Kurven von mehr als 1000 bis 1200 m Halbmesser ist die Erhöhung des Zugwiderstandes kaum noch bemerkbar, so daß diese und alle noch flacheren Kurven in den Rechnungen als gerade Linien betrachtet werden können.

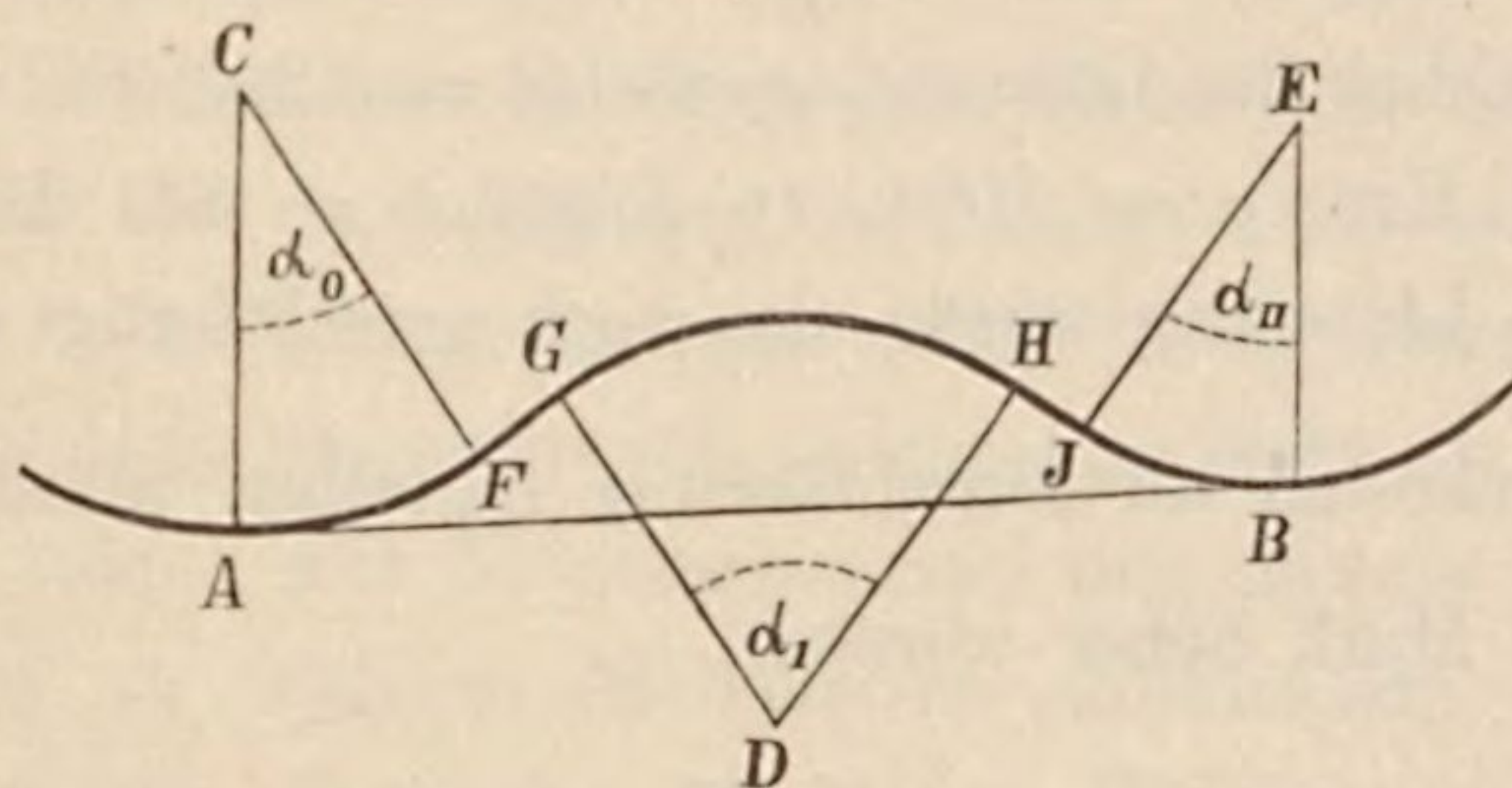
Kurven sind überhaupt so viel als möglich zu vermeiden und müssen stets durch eine genügende Verminderung der Anlagekosten gerechtfertigt sein.

In Strecken mit künstlicher Längen-Entwicklung kommt als Nachtheil der Kurven, außer der zahlenmäßig nicht genau festzustellenden erhöhten Abnutzung der Schienen und Radreifen, die Erhöhung des Zugwiderstandes und also auch der Betriebskosten in Betracht. Kann durch einen schlankeren Linienzug der Centriwinkel einer Kurve um α Grad, die Länge der Kurve also bei r Meter Halbmesser um $0,000018 \alpha r$ Km verringert werden, so wird für den Uebergang einer Tonne Last an Arbeit $0,000018 \alpha r \cdot \frac{1}{r} = 0,000018 \alpha$ Tonnen-Kilometer Arbeit erspart. Da die Lokomotivkosten für die Leistung eines

Tonnen-Kilometers Arbeit $\frac{1}{4}$ Mark betragen, so ist die Ersparung an Betriebskosten $= 0,0000045 \alpha$ Mark. Diese Ersparung tritt in Strecken mit schädlicher Steigung, wie sie ausschließlich in Linien mit künstlicher Längen-Entwicklung vorkommen, nur bei der Bergfahrt ein, ist also im Durchschnitt für den Verkehr in beiden Richtungen $= 0,00000225 \alpha$ Mark für die Tonne. Für den Uebergang von einer Million Tonnen Last, wobei das Lokomotivgewicht mit zu rechnen ist, entsteht also bei Verkleinerung der Centriwinkelsumme der Kurven um α Grad eine Betriebskosten-Ersparung von jährlich $2,25 \alpha$ Mark.

Bei Bahnen, welche ohne künstliche Längen-Entwicklung trafsirt sind, kommt bei Vermeidung einer Kurve aufer der Verminderung des Zugwiderstandes auch noch die Verkürzung der Linie in Betracht. Vergleicht man die gerade Linie AB (Fig. 10) von der Länge l , mit der gekrümmten Linie $AFGHJB$,

Fig. 10.



deren Länge l_{II} um λ größer als die Gerade AB sein möge, so kommt zunächst die nach Gl. 24 zu berechnende Ersparung an Unterhaltungskosten und an den, vom Kurvenwiderstande und von der Ansteigung unabhängigen Betriebskosten in Betracht, sodann aber die Vermeidung der Kurven AF , GH und JB , deren Centriwinkelsumme $\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_{II} = \alpha$ sei. Ist diese Centriwinkelsumme in Graden gegeben, so ist der Kurvenwiderstand in Tonnen-Kilometern für eine Gesamttrohl last von Q

Tonnen gleich $0,000018 \propto Q$. Da die Leistung eines Tonnen-Kilometers Arbeit durch die Lokomotive $\frac{1}{4}$ Mark kostet, so wird also durch die Vermeidung der Kurven ein Kostenbetrag $0,0000045 \propto Q$ Mark gespart.

Liegt die Strecke in unschädlicher Steigung, so tritt diese Ersparung für den Verkehr in beiden Richtungen ein, dagegen für Strecken in schädlicher Steigung nur bei der Bergfahrt, so daß nur die Hälfte in Ansatz zu bringen ist.

Die Gesamtersparung an Unterhaltungs- und Betriebskosten, welche durch Vermeidung der Kurven erreicht wird, ist also:

$$(Gl. 27.) E = \lambda \left\{ U + \frac{T}{100} (0,56 + 23\frac{1}{3}s) + \frac{P}{100} (0,973 + 10\frac{2}{3}s) \right\} + 0,0000045 \propto Q$$

wobei für den Fall, daß das Steigungsverhältniß der Strecke ein schädliches ist, das letzte Glied nur zur Hälfte zu rechnen ist.

Wäre beispielsweise $s = 0,0027$, $T = 400\,000$, $P = 300\,000$, Q einschließlich des Lokomotivgewichts $= 2\,200\,000$, $u = 3000$, $\lambda = 0,03$ Km, $\propto = 100^\circ$, so folgte $E = 841$ Mark. Der schlankere Linienzug würde also noch gerechtfertigt sein, wenn die Anlagekosten zur Durchführung derselben selbst um $\frac{841}{0,04} = 21\,000$ Mark höher würden.

§ 22.

Die Höhenlage der Trafse.

Für die Feststellung der Höhenlage der Trafse enthalten die „Technischen Vereinbarungen“ die folgenden Bestimmungen, welche auch für Nebenbahnen gelten:

„§ 2. Die größten Längen-Neigungen der Hauptbahnen sollen in der Regel nicht mehr als $1 : 40$ betragen. Die Neigungswechsel sind mittelst möglichst schlanker Kurven abzurunden. Zwischen Gegengefällen oder Gegensteigungen von

1 : 200 und darüber soll eine annähernd horizontale Strecke, wenn thunlich von der Länge eines Güterzuges, eingelegt werden.“

„§ 9. Die Bahnkrone in Höhe der Schienenunterkante soll, außer bei Bahnstrecken in eingedeichtem Lande, in der Regel mindestens 600 mm über den bekannten höchsten Wasserstand gelegt werden. Die Sohle der Bahnbettung soll unter allen Umständen eine vollständige Entwässerung erhalten.“

„§ 53. Die Bahnhöfe sollen in der Regel in gerader Linie und horizontal, keinenfalls aber, abgesehen von Rangirköpfen nebst Abzweig-, Weichen- und Ablaufgleisen, in einer stärkeren Neigung als 1 : 400 angelegt werden. Die Länge der Bahnhöfe soll mit Rücksicht auf die längsten, die anschließenden Strecken befahrenden Züge ausreichend bemessen werden. Da, wo sehr lange Züge mit einander zu kreuzen haben, können die Endweichen auch in gröfsere Neigungen als 1 : 400 gelegt werden.“

Für Lokalbahnen ist durch „die Grundzüge für den Bau und Betrieb der Lokalbahnen“ vom Jahre 1887 bestimmt:

„§ 2. Die Längsneigungen sollen in der Regel das Maß von 1 : 40 nicht überschreiten, solche von mehr als 1 : 25 sind zu widerrathen. Die Neigungswechsel sind mittelst Kreisbögen von nicht zu kleinem Halbmesser abzurunden. Wo ohne Schwierigkeiten thunlich, soll dieser Halbmesser mindestens zu 5000 m angenommen, unter 1500 m mit demselben aber in der Regel nicht herabgegangen werden. Nur beim Uebergang in die Stationen sind 1000 m zulässig. Zwischen entgegengesetzt geneigten Bahnstrecken sind wagerechte Strecken erwünscht, aber nicht nothwendig.“

„§ 11. Es wird empfohlen, die Bahnkrone in Höhe der Schienenunterkante über die öfters wiederkehrenden Hochwasser zu legen; unbedenklich aber kann derselbe unter

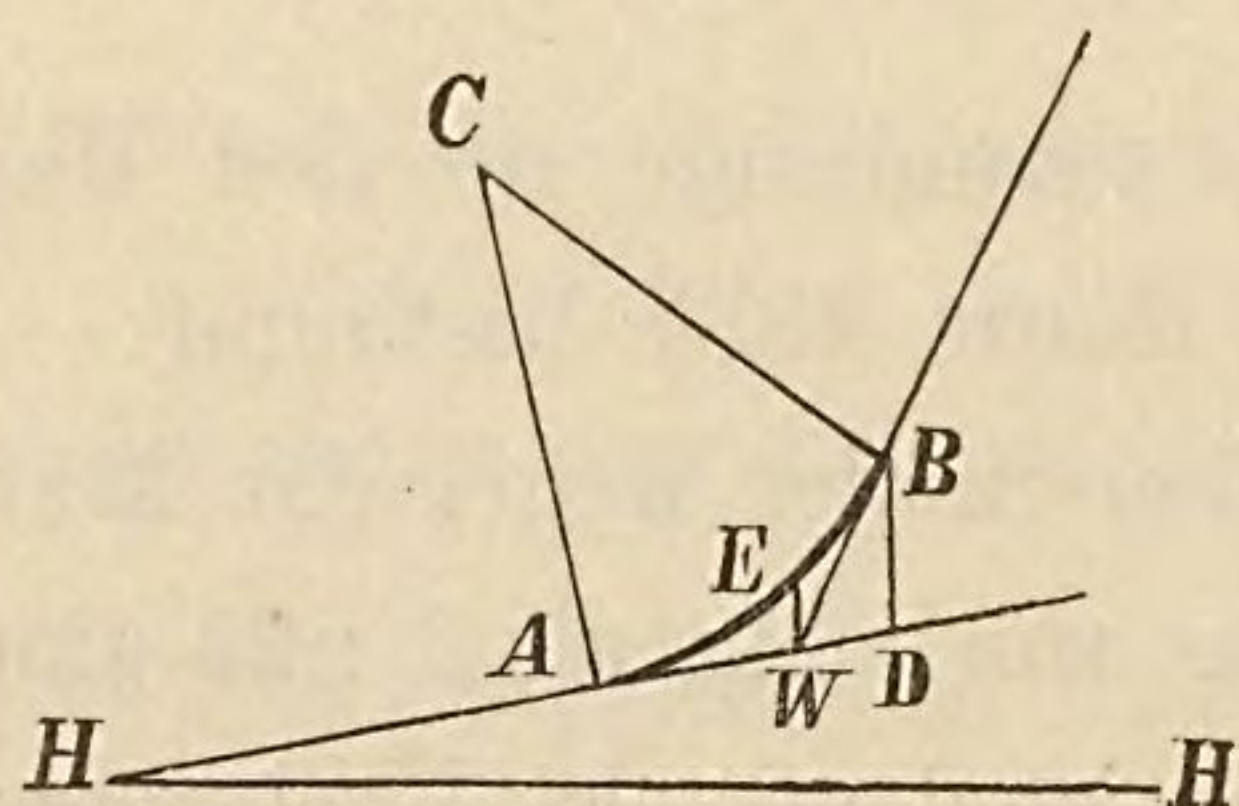
den außergewöhnlichen, selten auftretenden Hochwasserständen liegen.“

„§ 32. Es empfiehlt sich, die Neigung in den Bahnhöfen mit Ausnahme der Endweichen nicht stärker als 1 : 400 zu nehmen; für kleinere Zwischenbahnhöfe und Haltestellen sind stärkere Neigungen zulässig.“

Das Maß der Längsneigung der Trasse wird entweder in Form eines Stammbruchs oder eines Decimalbruchs oder in Prozenten oder in Millimetern für den lfd. Meter angegeben, so daß man beispielsweise eine Steigung als $\frac{1}{40}$ oder 0,025 oder $2\frac{1}{2}$ Proz. oder als eine 25 mm-Steigung bezeichnet. Die Trasse wird, wie im Grundriß, so auch im Längenschnitt als ein geradlinig gebrochener Linienzug entworfen, dessen Knickpunkte nach den angeführten Vorschriften abzurunden sind.

Geht die Steigung s_1 (Fig. 11) am Gefällwechsel W in

Fig. 11.



die Steigung s_{II} über, so ist bei einem Halbmesser r der Ausrundungskurve und bei $AW = BW = t$ Tangentenlänge $BD = (s_{II} - s_1)t$ und $2r \cdot BD = 4t^2$, mithin:

$$t = \frac{r}{2} (s_{II} - s_1).$$

Am Winkelpunkte ist das Maß der Aufhöhung EW genau genug gleich $\frac{1}{4} BD = \frac{1}{4} (s_{II} - s_1) t = \frac{r}{8} (s_{II} - s_1)^2$.

Würde als Halbmesser für die Ausrundung $r = 10\,000$ m angenommen, wäre beispielsweise $s_1 = 0,005$ und $s_{II} = 0,025$, so entsteht für die Tangente der Ausrundungskurve die Länge $t = 100$ m und für die Aufhöhung EW am Gefällwechsel 0,5 m.

Bei Annahme eines so großen Halbmessers für die Ausrundung der Gefällwechsel und bei so großem Unterschiede

in den Steigungsverhältnissen muß schon bei der Ausführung des Erdbaues die Ausrundung hergestellt werden, wogegen bei weniger schroffen Uebergängen in der Längsneigung selbst bei großem Halbmesser die Ausrundung erst bei der Verlegung des Oberbaues vorgenommen werden kann.

Durch kurzen Abstand der Gefällwechsel kann man sich der Bodengestaltung genauer anschmiegen und dadurch die Baukosten verringern, wogegen der Betrieb unbequemer wird, da jeder Gefällwechsel, wenn eine Veränderung der Fahrgeschwindigkeit vermieden werden soll, eine Veränderung der Dampfzulassung oder der Behandlung der Feuerung oder der Handhabung der Bremsen erforderlich macht. Die in der Regel festzuhaltende geringste Entfernung der Gefällwechsel ist daher von der Fahrgeschwindigkeit abhängig, denn die Regelung der Lokomotiv-Zugkraft würde auf einer Lokalbahn mit 5 m Geschwindigkeit bei einem Abstände der Gefällwechsel von 500 m nicht schwieriger sein als auf Bahnen mit 14 m Fahrgeschwindigkeit bei einem Gefällwechselabstande von 1400 m und als auf Bahnen mit Schnellzugverkehr von 20 m Geschwindigkeit bei 2000 m langen Gefälllinien.

Für Gebirgsbahnen glaubte man früher die ununterbrochene Durchführung der stärksten Steigung mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit auf ein bestimmtes Maß beschränken zu müssen, welches z. B. auf der Semmeringbahn bei einem Steigungsverhältniß von 25 mm auf 3160 m festgesetzt war, nach welcher Länge stets eine horizontale oder schwach ansteigende Strecke von etwa 500 m folgen mußte. Jetzt scheut man eine Durchführung steiler Ansteigungen auf größere Längen nicht mehr, obwohl in der Regel schon durch die Einlegung der Bahnhöfe eine Unterbrechung der Steigungslinien eintritt. Auf der Gotthardbahn kommen bei einem Steigungsverhältniße von 26 mm Stationsentfernungen von 8 bis 9 Km vor.

Die Feststellung der zweckmässigsten Höhenlage der Trasse ist unter Beobachtung der durch die „Technischen Vereinbarungen“ gegebenen Vorschriften von verschiedenen Umständen abhängig, von welchen besonders die Rücksichten auf die Kosten des Unterbaues, die Wasserverhältnisse, die Wegeverbindungen, sowie die Rücksichten auf die Bahnhofsanlagen und den Betrieb in Frage kommen.

Die Kosten des Erdbaues werden, wenn auch nicht immer, so doch in der Regel am billigsten, wenn die Abtrags- und Auftragsmassen sich ausgleichen. Fehlte für eine Bahnstrecke, bei welcher die Sohlenfläche sämtlicher Damm-schüttungen D Are und die Oberfläche sämtlicher Einschnitte E Are beträgt, eine Bodenmasse von Q Kubikmetern, welche daher durch Seitenentnahme gewonnen werden muß, so liesse sich durch Senkung der Trasse in den Dammstrecken

um ein durchschnittliches Maß von $\frac{Q}{D}$ Centimetern der Seiten-

entnahme vermeiden und bei der dadurch erreichten Ausgleichung der Auf- und Abtragsmassen eine Kostenersparung um den Betrag jener Seitenentnahme erzielen. Eine solche streckenweise Senkung der Trasse wird aber nicht immer durchzuführen sein. Wollte man die Trasse in ihrer ganzen Länge gleichmässig senken, um eine Ausgleichung zwischen Abtrag und Auftrag zu erreichen, so müßte dies um ein Maß

von $x = \frac{Q}{D + E}$ Centimetern geschehen. Wären die Kosten

der Seitenentnahme für einen Kbm, einschliesslich der Bodengewinnung und des Grunderwerbs, gleich a , die Kosten des Längentransports, einschliesslich der Bodengewinnung $= b$, so würden durch die Senkung der Trasse um x Centimeter erspart:

$$K = Qa - Exb$$

oder nach Einsetzung des für x ermittelten Werthes:

$$(Gl. 28.) \quad K = Q \left(a - \frac{E}{D + E} b \right).$$

Da die Flächen D und E in der Regel ziemlich gleich groß sein werden, $\frac{E}{D + E}$ also nicht weit von $1/2$ abweichen und b fast immer kleiner als $2a$ sein wird, so wird durch die Senkung der Trafse auf ein Maß, bei welchem eine Ausgleichung des Auf- und Abtrags erreicht wird, in den meisten Fällen eine Ersparung erzielt werden.

Ginge man umgekehrt von einer Höhenlage der Trafse aus, bei welcher Q Kubikmeter Abtragsboden in den Dammschüttungen keine Verwendung finden und daher seitlich abgelagert werden müssen, so würde durch eine Hebung der ganzen Trafse, bei welcher eine Boden-Ausgleichung erreicht wird, eine Ersparung:

$$K_1 = Q \left(\alpha - \frac{D}{D + E} b \right)$$

ergiebt.

Mit Ausnahme der seltenen Fälle, in welchen durch die Bodenausgleichung sehr weite Transporte erforderlich werden würden oder in welchen der Abtragsboden theilweise zur Dammschüttung nicht verwendet werden soll, sei es, daß er sich dazu nicht eignet oder daß er zweckmäßiger als Mauer-sand, Bettungskies, Bruchstein u. s. w. Verwendung findet, oder endlich in den Fällen, wo neben den Dämmen breite und tiefe Gräben als Einfriedigung erwünscht erscheinen, muß daher die Höhenlage der Trafse der Art festgestellt werden, daß eine Ausgleichung der Abtrags- und Auftragsmassen stattfindet.

Tiefe Einschnitte werden billiger durch Tunnel ersetzt. Ist die Einschnittstiefe h , die Arbeitsbreite des Einschnitts in Höhe der Bettungssohle b , das Neigungsverhältniß

der Böschungen $1 : m$, der Preis für den kbm Boden Grunderwerb, Gewinnung und Transport zusammengekommen, $= a$, so kostet der laufende Meter des Einschnitts $a (b h + m h^2)$. Dagegen würde ein Tunnel, von welchem der lfd. Meter A und dessen beide Portale zusammen P kosten, bei einer Länge l auf den lfd. Meter eine Ausgabe von $\frac{P}{l} + A$ erfordern. Aus der Gleichstellung beider Kostenbeträge findet man die Grenztiefe, bei welcher ein Tunnel billiger als ein Einschnitt wird, zu:

$$(Gl. 29.) \quad h = -\frac{b}{2m} + \sqrt{\frac{b^2}{4m^2} + \frac{P}{aml} + \frac{A}{am}}.$$

Wäre für eine zweigleisige Bahn $A = 1200$ Mark, $P = 20\,000$ Mark, $a = 1$ Mark, $l = 200$ m, $b = 12$ m und $m = 1\frac{1}{2}$, so wäre $h = 25,7$ m. Der Tunnel müßte bei dieser Einschnittstiefe beginnen, so daß seine Länge sich erst genau nach der Ermittlung von h ergibt, also unter Umständen die Rechnung unter Einsetzung des berichtigten Maßes von l wiederholt werden muß.

Unabhängig von dem Kostenbedarfe führen aber auch Rücksichten auf Sicherung gegen Rutschungen, Lawinen, Wildbäche und Steinstürze zur Herstellung von Tunneln.

Hohe Dämme werden billiger durch Viadukte ersetzt, wobei die Grenzhöhe je nach den örtlichen Verhältnissen und nach der Ausführungsweise der Viadukte gewöhnlich zwischen 20 und 30 m liegt, bei theurem Grunderwerb aber oft weit niedriger und allgemein bei eingleisigen Bahnen geringer als bei zweigleisigen Bahnen ist. Auch andere, nicht auf den Baukosten beruhenden Gründe können zuweilen Veranlassung zur Ausführung von Viadukten werden, wie z. B. militärische Rücksichten in der Nähe von Festungswerken oder Schönheitsrücksichten innerhalb der Städte.

In Bezug auf die Wasserverhältnisse wird durch die „Technischen Vereinbarungen“ für Hauptbahnen eine Höhenlage der Bahnkrone von mindestens 0,6 m über dem höchsten Wasserstande verlangt, während für Nebenbahnen an diesem Maße nicht festgehalten, sondern nur verlangt wird, daß die Bahnkrone nicht tiefer als der höchste Wasserstand liegt. Für Lokalbahnen wird es als genügend erachtet, wenn die Bahnkrone über den gewöhnlich vorkommenden höchsten Wasserständen liegt, so daß sie von den selten eintretenden außergewöhnlichen Hochwassern überfluthet werden darf.

Die diesen Vorschriften entsprechende Höhenlage der Bahn genügt auch für die kleineren Durchlässe, welche als offene Durchlässe, über welchen die Schienen sich frei tragen, nach Bedürfnis in mehreren Oeffnungen hergestellt werden können. In Nothfällen können die Durchlässe auch als Syphons oder Düker angeordnet werden.

Bei Ueberspannung größerer Weiten erfordern die eisernen Brücken eine viel geringere Konstruktionshöhe als steinerne Brücken. Die Träger-Unterkante der eisernen Brücken sollte bei rasch strömenden Gewässern mindestens 1,0 bis 1,5 m über Hochwasser liegen, welches Maß bei Flüssen mit geringerer Wassergeschwindigkeit auf 0,6 m und bei Kanälen auf 0,5 m, ja in Nothfällen auf 0,3 m ermäßigt werden kann. Bei schiffbaren Wasserläufen ist, falls die Masten und Schornsteine der Schiffe niedergelegt werden können, eine lichte Höhe von 3 bis 4 m über dem höchsten schiffbaren Wasserstande je nach der Bauart der Schiffe erforderlich. Wo diese Höhenlage der Brücke erhebliche Kosten verursachen würde oder wo ein Niederlegen der Masten und Schornsteine nicht vorgenommen wird, kommt die Ausführung beweglicher Brücken in Frage. Eine lichte Höhe von 30 m genügt für den Durchgang der größten Seeschiffe.

Der Höhenabstand zwischen Schienenoberkante und Trägerunterkante kann bei kleinen Spannweiten, wenn die Schienen unmittelbar auf Querträgern von 0,40 bis 0,45 m Höhe befestigt oder zwischen naheliegende Zwillingsträger gelegt werden, über deren Oberkante sie mit der Kopffläche um 0,04 m hervortreten, auf 0,55 bis 0,60 m beschränkt werden. Selbst für die größte Spannweite und bei der gewöhnlichen Befestigung der Schienen auf Querschwellen genügt bei eingleisigen Brücken eine Konstruktionshöhe zwischen Schienenoberkante und Trägerunterkante, von 0,65 m und bei zweigleisigen Brücken von 1,15 m.

Bei steinernen Brücken sollen die Kämpfer der Gewölbe der Regel nach über Hochwasser liegen; bei Halbkreisgewölben wird es aber für zulässig gehalten, die Kämpfer bis auf $\frac{1}{6}$ der Spannweite unter Hochwasser zu legen. Zur Bestimmung der Höhenlage der Trasse über Hochwasser kommt noch der Höhenabstand zwischen Schienenoberkante und deren äusseren Gewölbscheitel und die Gewölbstärke in Betracht. Jener ist bei Annahme einer Bettungsstärke von 40 cm und bei einer aus zwei Backstein-Flachschichten bestehenden Gewölb-Abdeckung auf mindestens 0,7 m und die Gewölbstärke im Scheitel nach der Formel:

$$(\text{Gl. 30.}) \quad d = 0,25 \text{ m} + \left(0,025 + 0,0034 \frac{w}{f}\right) w$$

zu bemessen, worin w die Spannweite und f die Pfeilhöhe des Gewölbes bezeichnet*). Diese für Quader geltende Gewölbstärke ist für Ziegel- oder Bruchsteinmauerwerk etwas gröfser anzunehmen. Unter Pfeilverhältnisse von $\frac{1}{6}$ oder höchstens $\frac{1}{8}$ sollte man ohne Noth nicht herabgehen, da flachere Pfeilverhältnisse unvortheilhaft starke Widerlager erforderlich machen.

*) Vergl. von Kaven, Kurze Anleitung zum Projektiren von Eisenbahnen, Seite 61. Aachen 1878, Verlag von J. A. Mayer.

Für eine Brücke von 20 m Spannweite und $\frac{1}{6}$ Pfeilverhältniß würde man also 1,16 m Gewölbstärke im Scheitel und vom Hochwasser in Kämpferhöhe bis Schienenoberkante $0,7 + 1,16 + 3,33 =$ rund 5,2 m Konstruktionshöhe erforderlich haben, während für eine eingleisige eiserne Brücke eine Konstruktionshöhe, zwischen Schienenoberkante und Hochwasser, von $0,65 + 1,0 = 1,65$ m genügen würde.

Bei eisernen Bogenbrücken kann man bei knapper Konstruktionshöhe die Unterkante der Querträger in Höhe des inneren Bogenscheitels legen, braucht also zwischen diesem und Schienenoberkante nur einen Abstand von 0,65 m, muß dagegen den Kämpfer um 0,6 bis 1,0 m über Hochwasser legen, so daß man im Vergleich mit steinernen Brücken nur wenig an Konstruktionshöhe sparen kann.

Die Rampen, welche man vor Brücken zur Gewinnung der erforderlichen Konstruktionshöhe anordnen muß, kann man bei eisernen Bogenbrücken wie bei steinernen Brücken bis zum Scheitel der ersten Oeffnung ansteigen lassen, wie dies beispielsweise bei der älteren Bogenbrücke über den Rhein bei Koblenz geschehen ist.

Das für die Brückenrampen anzunehmende Steigungsverhältniß ist nach § 24 oder in den Nothfällen, wo man eine Anlaufsteigung anwenden muß, nach § 26 zu bestimmen.

Die Wegeverhältnisse sind im Allgemeinen für die Bestimmung der Höhenlage der Bahn von geringerer Bedeutung als die Wasserverhältnisse, da man oft die Höhenlage der zu kreuzenden Wege durch einen Umbau mit geringeren Kosten ändern kann als eine Aenderung der nach anderen Rücksichten festgelegten Höhenlage der Bahn erfordern würde.

Für Hauptbahnen sind Wege-Uebergänge in Schienenhöhe nur für Wege von geringer Bedeutung zulässig, während

für Lokalbahnen diese billigste Art der Wegekreuzung stets zu erstreben ist.

Für den Fall, daß zur Ueber- oder Unterführung eines Weges der erforderliche Höhenunterschied zwischen Weg und Bahn nicht vorhanden ist, muß in Ueberlegung gezogen werden, ob man die geplante Höhenlage der Eisenbahn-Trasse oder die Höhe des vorhandenen Weges ändert. Für den Fall, daß der Höhenunterschied ein geringer ist, kann sogar noch in Frage kommen, ob man den Weg zweckmäßiger über- oder unterführt, wobei zu beachten ist, daß für Bahnen mit normaler Spur nach der vorschriftsmässigen Umgrenzung des lichten Raumes eine lichte Höhe von 4,8 m, für Bahnen von 1 m Spurweite 3,75 m und für Bahnen von 0,75 m Spurweite 3,1 m erforderlich ist, wogegen für Wege je nach ihrer Bedeutung zwischen 3 und 5 m lichte Höhe verlangt wird. Liegt der Weg unten, so genügt also ein Höhen-Unterschied von 3,6 bis 5,6 m zwischen Wegoberfläche und Schienenoberkante, wogegen, falls der Weg oben liegt, bei normalspuriger zweigleisiger Bahn 6,0 bis 6,2 m, bei normalspuriger eingleisiger Bahn 5,5 m, bei einer Schmalspurbahn von 1 m Spurweite 4,5 m und bei einer Bahn von nur 0,75 m Spurweite 3,8 m für diesen Höhenunterschied mindestens erforderlich sind.

Das zweckmässigste Neigungsverhältniß der Wegerampen, bei welchen die Summe der Bau- und Betriebskosten des Weges am kleinsten wird, liegt je nach der Grösse des Verkehrs in der Ebene zwischen 0,025 und 0,012, im Flachlande zwischen 0,030 und 0,015, im Hügellande zwischen 0,035 und 0,020 und im Gebirge zwischen 0,040 und 0,025. In dem Ausnahmefalle, daß die Wegerampen durch eine künstliche Verlängerung des Straßenzuges entwickelt werden müssen, wird das zweckmässigste Neigungsverhältniß grösser und zwar im Flachlande von 0,020 bis 0,030, im Hügellande von 0,028 bis 0,040

und im Gebirge von 0,034 bis 0,050. *) Die Steigungsverhältnisse der in die Eisenbahntrasse mit Rücksicht auf Wegekrenzungen einzulegenden Rampen sind nach § 24 zu ermitteln. In den meisten Fällen wird der Mehraufwand der Anlage- und Betriebskosten der Eisenbahn, welche in Folge einer solchen Aenderung der Steigungsverhältnisse der Trasse entsteht aber gröfser sein, als der bei einer entsprechenden Aenderung der Höhenlage und Steigungsverhältnisse des zu kreuzenden Weges erwachsende Aufwand an Baukosten und der Mehrbetrag der Betriebskosten auf dem Wege, so dafs in der Regel der Umbau des Weges den Vorzug verdient.

Bei Kreuzung einer zu bauenden Bahn mit einer andern, bereits vorhandenen Eisenbahn, kann häufig auch ein Umbau dieser letzteren von Vorthail sein. Wäre beispielsweise eine eingleisige Bahn von 4 m Kronenbreite über eine bereits vorhandene zweigleisige, in Bodenhöhe liegende Bahn von 10 m Sohlenbreite zu führen und wäre auf Grund des in § 24 angegebenen Rechnungsganges als zweckmäfsigstes Steigungsverhältnifs der in die geplante Bahn einzulegenden Rampen 0,005 gefunden, so würden bei einer Steigungshöhe von 6 m die beiderseitigen Rampen mit $1\frac{1}{2}$ fachen Böschungen 72 000 kbm Bodenmasse erfordern. Würde dagegen die vorhandene Bahn an der Kreuzungsstelle um 2,5 m unter Einlegung von ebenfalls mit 0,005 abfallenden Gefälllinien gesenkt, die überzuführende Bahn also nur um 3,5 m gehoben, so würden die Rampen dieser letzteren nur 18 200 kbm Boden erfordern, welcher aus der gleich grofsen Abtragsmasse der zu senkenden Bahn gewonnen wird. Die Kostenermäfsigung ist also so erheblich, nämlich auf ein Viertel, dafs der schwierige

*) Vergleiche Theorie des Trassirens. Heft III. Technische Trassirung der Strassen; oder auch Launhardt: Die Steigungsverhältnisse der Strassen. Hannover bei Schmorl & von Seefeld. 1880.

Umbau der im Betriebe befindlichen Bahn sich gewiß rechtfertigt.

Die Bahnhofsanlagen sind auf die Höhenlage der Trasse oft von entscheidendem Einflusse, weil die Höhenlage der Bahnhöfe meistens mit Rücksicht auf die Zugangswege innerhalb enger Grenzen fest bestimmt ist. Erwünscht, wenn auch nicht immer durchführbar, ist es, wenn die Bahn in beiden Richtungen vom Bahnhofe aus Gefälle hat, weil dadurch das Anfahren und Anhalten der Züge erleichtert wird.

Im Gebirge ist die Herstellung der Bahnhofshorizontalen sehr kostspielig, so daß man in der Regel die als zulässig anerkannte Anordnung wählen sollte, nach welcher der Bahnhof in eine Längenneigung von 1:400 gelegt wird. Man gewinnt bei einem 400 m langen Bahnhofe bei dieser Längsneigung 1 m Höhe, kann daher in Strecken mit Längenentwicklung bei einem Steigungsverhältnisse s die ganze Linie um $\frac{1}{s}$ Meter kürzer halten, als bei horizontaler Lage des Bahnhofs nöthig sein würde. Für $s = 0,025$ giebt dies eine Verkürzung um 40 m und, wenn beispielsweise die Zinsen des Anlagekapitals, die Unterhaltungs- und Betriebskosten für den Km jährlich 25 000 Mark betragen, also eine Ersparung von jährlich 1000 Mark, wofür die Längenneigung auf dem Bahnhofe gewiß ertragen werden kann.

Für die Ausrundung der Gefällwechsel an den Ausgängen der Bahnhöfe in stark ansteigenden Strecken muß man sich, um eine zu große Länge dieser Ausrundungen zu vermeiden, mit einem Krümmungshalbmesser von 3000 bis 5000 m begnügen.

Für die Höhenlage der Trasse sind endlich von durchschlagender Bedeutung die Rücksichten auf die Betriebskosten. Es muß zunächst für jede Bahnlinie nach den

Verkehrsverhältnissen und der Bodengestaltung die zweckmässigste Gröfse der maßgebenden Steigung bestimmt werden, worüber die folgenden §§ das Nähere enthalten. Innerhalb der durch die maßgebende Steigung gegebenen Grenze sind dann die Längsneigungen für die einzelnen Strecken nach den in § 27 entwickelten Regeln festzustellen. In Ausnahmefällen kann für geringe Längen eine die maßgebende Steigung übertreffende Steigung angewendet werden, welche unter theilweiser Aufzehrung der im Zuge aufgespeicherten lebendigen Kraft als „Anlaufsteigung“ überwunden wird.

Die maßgebende Steigung muß dagegen in Kurven um das Maß des Kurvenwiderstandes verringert werden, wie schon in § 21 näher erörtert wurde. Ferner muß in Tunneln die äußerste Steigung eine Ermäßigung erfahren, weil der Reibungswiderstand, welchen die Triebräder auf den Schienen finden in den fast immer feuchten Tunneln ungünstiger ist und weil der Zugwiderstand in Folge der Reibung, welchen die durch die Geschwindigkeit des Zuges in Bewegung gesetzte Luft an den Tunnelwänden findet, ein größerer ist. Ueber das Maß dieser Vermehrung des Zugwiderstandes fehlt es, soweit bekannt, bis jetzt an zutreffenden Erfahrungen. Die Ermäßigung der Steigung sollte mit Rücksicht auf die ungünstigen Reibungswiderstände auf den Schienen im Verhältniß der Steigung bemessen werden, also auf steileren Strecken erheblicher als auf flacheren Strecken, dagegen in Rücksicht auf den vermehrten Zugwiderstand um so erheblicher angenommen werden als die Fahrgeschwindigkeit ist, also auf flacheren Strecken größer als auf steilen Strecken. Es empfiehlt sich daher wohl ein gleichbleibendes Maß, etwa 2 bis 3 mm auf den lfd. Meter, für alle Fälle als Ermäßigung der Steigung in Tunneln fest zu setzen.

In kurzen Kurven und in kurzen Tunneln kann die Verringerung des Steigungsverhältnisses unterlassen werden, indem man annimmt, daß wie bei Anlaufsteigungen der vermehrte Zugwiderstand durch die lebendige Kraft des Zuges überwunden wird.

Eine Verringerung der maßgebenden Steigung empfiehlt sich auch für solche Strecken, welche regelmässigen starken Seitenwinden ausgesetzt sind, wie es bei Ueberschreitung eines Thales vorkommen kann.

§ 23.

Zweckmässigste Gröfse der maßgebenden Steigung.

Hat die erste vorläufige Feststellung der Trasse nach Grundrifs- und Höhenlage unter thunlichster Berücksichtigung der in den §§ 19 und 22 dafür angegebenen bestimmenden Gründe stattgefunden, so muß untersucht werden, ob die in der Trasse vorkommende stärkste Steigung beibehalten werden kann.

Zur Entscheidung über diese wichtige Frage scheidet man die sämtlichen Neigungsstrecken der Trasse in 2 Gruppen, von welchen die erste alle Strecken umfaßt, welche unbedingt als nicht zu steil geschätzt werden, während für die zweite Gruppe diejenigen Strecken verbleiben, welche vielleicht nach der vorzunehmenden Untersuchung als zu steil erscheinen und daher einer Verflachung ihres Neigungsverhältnisses bedürfen.

Man ermittelt dann die Gesammthöhe h , welche durch alle der zweiten Gruppe angehörenden Strecken erstiegen wird, wobei man, da ein gleich großer Verkehr in beiden Richtungen angenommen wird, sich nicht darum kümmert, in welcher von beiden Richtungen die einzelnen Strecken ansteigen. Wären nun diese Strecken durch künstliche Längen-

entwicklung auf ein Steigungsverhältniß s zu verflachen, welches zur maßgebenden Steigung für die ganze Bahnlinie wird, so müßten sie eine Länge $\frac{h}{s}$ erhalten. Da aber in den Kurven eine Ermäßigung des Steigungsverhältnisses um die GröÙe des Kurven-Widerstandes $c = \frac{1}{r}$ vorgenommen werden muß, so verringert sich die in einer Kurve von r Meter Halbmesser und α° Centriwinkel, also von $0,000018 \alpha r$ Kilometer Länge zu gewinnende Höhe um $0,000018 \alpha$ im Vergleich zu einer gleich langen geraden Strecke. Ist α die Summe der Centriwinkel aller vorkommenden Kurven in Graden, so braucht man zur Erreichung der Höhe h eine Entwicklungslänge $l_1 = \frac{h + 0,000018 \alpha}{s}$ oder wenn man zur Abkürzung $h + 0,000018 \alpha = h_1$ setzt, eine Länge $l_1 = \frac{h_1}{s}$.

Sind die kilometrischen Anlagekosten $= A$, die jährlichen Unterhaltungskosten für den Km $= U$, so sind die Zinsen des Anlagekapitals und die Unterhaltungskosten für die ganze Länge der zu entwickelnden Strecke:

$$K_0 = (Ai + U) \frac{h_1}{s}.$$

Für die Berechnung der Betriebskosten soll eine zu befördernde Person gleich einer Tonne Nutzlast gerechnet werden, wie bei ähnlichen Rechnungen vielfach zu geschehen pflegt und auch zuläÙsig erscheint, da die GröÙe des Verkehrs immerhin nur nach Abschätzung bestimmt werden kann. Ist T die anzunehmende Summe der jährlich zu befördernden Tonnen Nutzlast und Personen, b der Ladungskoeffizient, so betragen nach § 10 die Betriebskosten auf der Länge $\frac{h_1}{s}$ mit der maßgebenden Steigung s :

$$K_1 = f + es + \frac{1/2 (B_1 + B_0) (w + s)}{(z - w - s) L} \left\{ \frac{b T h_1}{s} \right\}.$$

Für die erste Gruppe der Strecken, welche unverändert nach dem ersten Entwurfe bleiben sollen, kommen die Anlage- und Unterhaltungskosten nicht in Betracht, wohl aber die Betriebskosten, da diese von der zu suchenden Gröfse der maßgebenden Steigung abhängig sind. Bestimmt man für die Strecken dieser ersten Gruppe von der Gesamtlänge l nach § 11 die gleichwerthige Steigung s_{11} , so sind die Betriebskosten auf denselben:

$$K_{11} = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s)}{(z - w - s) L} + \frac{1/2 (B_1 - B_0) (w + s_{11})}{(z - w - s) L} \right\} b T l.$$

Die ganze Summe der von der Gröfse der maßgebenden Steigung s abhängigen Bau- und Betriebskosten $K = K_0 + K + K_{11}$ ist daher, wenn $\frac{l}{h_1} = m$ gesetzt wird:

$$K = \frac{h_1 b T}{L} \left\{ (Ai + U) \frac{L}{b T} \cdot \frac{1}{s} + \frac{f L}{s} + \frac{1/2 (B_1 + B_0) (w + s)}{(z - w - s) s} \right. \\ \left. + em L s + \frac{m B_0 (w + s) + \frac{m}{2} (B_1 - B_0) (w + s_{11})}{z - w - s} \right\} + h_1 b T (e + mf).$$

Setzt man zur Abkürzung:

$$(Ai + U + f b T) \frac{L}{b T} = J$$

und ordnet nach Potenzen von s , so folgt:

$$K = \frac{h_1 b T}{L} \left\{ J(z - w) + 1/2 (B_1 + B_0) w + [1/2 (B_1 + B_0) - J \right. \\ \left. + \frac{m}{2} (B_1 + B_0) w + \frac{m}{2} (B_1 - B_0) s_{11}] s + [m B_0 + em L (z - w)] s^2 \right. \\ \left. - em L s^3 \right\} \frac{1}{(z - w) s - s^2} + h_1 b T (e + mf).$$

Vernachlässigt man das kleine Glied $- e m L s^3$ und setzt zur Abkürzung:

$$J(z - w) + \frac{1}{2} (B_1 + B_0) w = D$$

$$\frac{1}{2} (B_1 + B_0) = J + \frac{m}{2} (B_1 + B_0) w + \frac{m}{2} (B_1 - B_0) s_{11} = E$$

$$m B_0 + e m L (z - w) = G$$

so entsteht:

$$K = \frac{h_1 b T}{L} \left\{ \frac{D + E s + G s^2}{(z - w) s - s^2} \right\} + h_1 b T (e + m f).$$

Differentiirt man diese Gleichung nach s und setzt den Differentialquotienten gleich Null, so erhält man für den günstigsten Werth der maßgebenden Steigung die Bedingung:

$$s^2 [E + G (z - w)] + 2 D s - D (z - w) = 0$$

woraus, wenn man setzt:

$$E + G (z - w) = N$$

folgt:

$$s = - \frac{D}{N} + \sqrt{\frac{D^2}{N^2} + \frac{D}{N} (z - w)}$$

oder:

$$s = \frac{1}{N} (-D + \sqrt{D [D + N (z - w)]}).$$

Wird ferner $D + N (z - w) = F$ gesetzt, so entsteht:

$$s = \frac{1}{N} (-D + \sqrt{D F}).$$

Bedenkt man, daß

$$N = \frac{F - D}{z - w}$$

ist, so kann man auch schreiben:

$$s = \frac{(z - w) (-D + \sqrt{D F})}{F - D}$$

oder

$$s = \frac{(z - w) (\sqrt{F} - \sqrt{D}) \sqrt{D}}{(\sqrt{F} - \sqrt{D}) (\sqrt{D} + \sqrt{F})}$$

also

$$s = \frac{z - w}{1 + \sqrt{\frac{F}{D}}}$$

Setzt man jetzt schrittweise für die nach und nach eingeführten Abkürzungswerte die vollen Ausdrücke wieder ein, so entsteht da:

$$F = D + N (z - w)$$

und

$$N = E + G (z - w)$$

war, zunächst:

$$s = \frac{z - w}{1 + \sqrt{\frac{D + E (z - w) + G (z - w)^2}{D}}}$$

Für den Zähler unter dem Wurzelzeichen erhält man durch Zurücksetzung der Ausdrücke für D , E und G :

$$\begin{aligned} F = & J(z - w) + \frac{1}{2} (B_1 + B_0) w + \frac{1}{2} (B_1 + B_0) (z - w) - J(z - w) \\ & + \frac{m}{2} (B_1 + B_0) (z - w) w + \frac{m}{2} (B_1 - B_0) (z - w) s_{11} \\ & + m B_0 (z - w)^2 + e m L (z - w)^3 = \frac{1}{2} (B_1 + B_0) z + B_0 m z (z - w) \\ & + \frac{1}{2} (B_1 - B_0) m (z - w) (w + s_{11}) + e m L (z - w)^3. \end{aligned}$$

Berücksichtigt man, daß

$$B_1 - B_0 = a z L$$

ist und setzt man ferner das Mittel $\frac{1}{2} (B_1 + B_0)$ aus den Kosten einer leer laufenden und einer mit voller Zugkraft arbeitenden Lokomotive für den $\text{Km} = B$, so entsteht für den Zähler unter dem Wurzelzeichen:

$$F = z \left\{ B + m (z - w) (B_0 + \frac{1}{2} a L (w + s_{11})) + \frac{e L}{z} (z - w)^2 \right\}.$$

Der Nenner unter dem Wurzelzeichen wird nach Einsetzung des Ausdrucks für D , J und $1/2 (B_1 + B_0) = B$:

$$D = Bw + (Ai + U + fbT) \frac{L(z - w)}{bT}.$$

Es läßt sich hierin zur Abkürzung die Anzahl n der Züge einführen, welche auf einer geraden horizontalen Bahn zur Beförderung der Rohlast bT im Jahre abgelassen werden müßten. Das Gewicht eines Zuges würde sein:

$$Q = \frac{z - w}{w} L$$

also

$$n = \frac{bT}{Q} = \frac{bTw}{(z - w)L}.$$

Setzt man diesen Hülfswerth ein, so wird:

$$D = w \left\{ B + \frac{1}{n} (Ai + U + fbT) \right\}.$$

Durch Einsetzung der für F und D ermittelten Werthe in die für die günstigste GröÙe der maßgebenden Steigung gefundene Gleichung erhält man nun endlich:

$$(Gl. 31.)_{s+1} = \sqrt[3]{\frac{z}{w} \cdot \frac{B + m(z - w) \left\{ B_0 + \frac{a}{2} L(w + s_{11}) + \frac{eL}{z} (z - w)^2 \right\}}{B + \frac{1}{n} (Ai + U + fbT)}}$$

Die Formel zeigt, daß das Steigungsverhältniß bei einer Längenentwicklung der Trasse steiler angeordnet werden muß, wenn die kilometrischen Baukosten $Ai + U$ größer sind, dagegen flacher, wenn der Verkehr T und mit demselben die Anzahl der Züge n beträchtlicher ist, was ja auch ohne Weiteres klar ist. Die Formel zeigt ferner, daß das Steigungsverhältniß um so flacher gewählt werden muß, je größer m ist, also je länger die mit der Gebirgsrampe gemeinsam be-

triebenen Anschlussstrecken im Vergleich zu der zu ersteigenden Höhe sind. Es ist auch das leicht begreiflich, weil das Neigungsverhältniß der entwickelten Linie die maßgebende Steigung für den Betrieb auf den Anschlussstrecken ist und die Kosten dieses Betriebes mit der Verkleinerung der maßgebenden Steigung abnehmen. Nicht ganz so rasch wird man sich davon überzeugen, warum auch, wie die Formel es zeigt, die Ansteigung der entwickelten Linie steiler sein muß, wenn die Anschlussstrecken eine größere gleichwerthige Steigung s_{11} haben, da man im ersten Augenblick leicht annehmen wird, daß man in der entwickelten Linie um so steilere Steigungen geben müsse als in den Anschlussstrecken bereits starke Neigungen vorkommen. Man muß aber beachten, daß die Verminderung der Betriebskosten auf den Anschlussstrecken, welche in Folge einer Verkleinerung der maßgebenden Steigung eintritt, um so erheblicher ist, je größer diese Betriebskosten schon an und für sich durch die innerhalb der Anschlussstrecken vorkommenden Steigungen sind. Da die Verminderung der Betriebskosten in Folge einer Verkleinerung der maßgebenden Steigung also auf Anschlussstrecken mit großer gleichwerthigen Steigung beträchtlicher ist als auf solchen mit schwächerer gleichwerthigen Steigung, so ist im ersten Fall eine kleinere Abmessung der maßgebenden Steigung geboten.

Endlich zeigt die Formel, daß die zweckmässigste Neigung um so kleiner ist, je kleiner der zu Grunde gelegte Zugkraftskoeffizient z der Lokomotiven ist. Dies ist der einzige Werth, über welchen in einem gegebenen Falle, wo die Höhe der Baukosten, die Gröfse des Verkehrs, die Länge der Anschlussstrecken und deren gleichwerthige Steigung bestimmt sind, noch freie Verfügung verbleibt. Mit der Vergrößerung des Zugkraftskoeffizienten, wodurch der zweckmässigste Werth des Neigungsverhältnisses größer wird, vermindern sich die Ge-

sammtverkehrskosten, also die Summe der Zinsen des Anlagekapitals, der Unterhaltungs- und der Betriebskosten. Man wird aber in der Annahme des Zugkraftskoeffizienten über ein bestimmtes günstigstes Maß nicht hinausgehen dürfen, welches von verschiedenen Umständen abhängt, die in der Formel keine Berücksichtigung finden konnten, wie bereits in § 12 hervorgehoben wurde. Mit der Vergrößerung des Zugkraftskoeffizienten vermindert sich die erreichbare äußerste Fahrgeschwindigkeit, was bei Ueberschreitung einer bestimmten Grenze für den Verkehr unerwünscht wird und wodurch die auf den Km entfallenden Kosten für das Zugbegleitungspersonal und für die Zinsen des Anschaffungskapitals der Betriebsmittel wachsen; auch werden durch die zur Erreichung eines größeren Zugkraftskoeffizienten erforderliche Kuppelung von Lokomotivachsen die Reibungswiderstände der Lokomotivtheile und die Unterhaltungskosten derselben größer.

Die Bestimmung des zweckmäßigsten Steigungsverhältnisses kann sonach nur im Zusammenhange mit der Feststellung des für den bestimmten Fall besten Werthes des Zugkraftskoeffizienten getroffen werden.

Die Grösse des Einflusses, welchen die verschiedenen für die Bestimmung des zweckmäßigsten Werthes der maßgebenden Steigung in Betracht kommenden Umstände äussern, wird sich am besten durch die Berechnung eines Beispieles bei Zugrundelegung verschiedener Annahmen, erkennen lassen.

Sei beispielsweise zur Ueberschreitung einer Wasserscheide von einer Seite eine Höhe von 200 Meter, von der anderen Seite eine solche von 190 Meter zu ersteigen und kommen in den beiderseitigen Rampen schätzungsweise Kurven von insgesamt 550° Centriwinkel vor, so ist die Grösse $h_1 = 0,2 + 0,19 + 0,000018 \cdot 550 = 0,4$ zu setzen. Führen zu dem Wasserscheiden-Uebergange Anschlussstrecken, deren gleich-

werthige Steigung $s_{11} = 0,006$ und deren Länge $l = 60$ Km ist, so entsteht für die Verhältnisszahl m der Werth $\frac{60}{0,4} = 150$.

Die Neubaukosten der Gebirgsstrecken seien zu 320 000 Mk. und die jährlichen Unterhaltungskosten derselben zu 3000 Mk. für den Km veranschlagt, so daß $Ai + U = 320\,000 \cdot 0,04 + 3000 = 15\,800$ Mk. = 1 580 000 Pfg. ist. Die Summe der zu befördernden Tonnen Güter und Personen werde zu $T = 600\,000$ und der Ladekoeffizient $b = 2\frac{1}{3}$ angenommen, dann ist $bT = 1\,400\,000$. Werden dann ferner nach den früheren Ermittlungen $w = 0,0036$ gesetzt und $B_0 = 32$, $a = 25$, $e = 2$, $f = 0,15$ in Pfennigen, ferner das Lokomotivgewicht zu $L = 60$ Tonnen angenommen, so erhält man das zweckmässigste Steigungsverhältniss für die Ueberschreitung der Wasserscheide nach der entwickelten Formel für:

$$z = 0,08 \text{ zu } s = 0,0200,$$

$$z = 0,09 \text{ zu } s = 0,0212,$$

$$z = 0,10 \text{ zu } s = 0,0225,$$

$$z = 0,11 \text{ zu } s = 0,0239,$$

$$z = 0,12 \text{ zu } s = 0,0250.$$

Für diese verschiedenen Annahmen des Zugkraftskoeffizienten z erhält man die Gröfse des Zuggewichtes

$$Q = \frac{z - w - s}{w + s} L$$

die Zahl der zur Bewältigung der Verkehrsmenge bT im Jahre erforderlichen Züge $= \frac{bT}{Q}$, die Fahrgeschwindigkeit, unter Voraussetzung einer Arbeitsleistung der Lokomotive von 360 Pferdekraften zu $v = \frac{Q, 45}{z}$ Meter in der Secunde, und endlich die Gesamtverkehrskosten nach der folgenden Tabelle, wobei das Anlagekapital für die 60 Km langen Anschluss-

strecken zu 10 Mill. Mark, also die Zinsen dieses Anlagekapitals und die Unterhaltungskosten zu $60.3000 + 0,04.10000000 = 580\,000$ Mark angesetzt sind.

Tabelle XIII.

Zweckmäfsigstes Steigungsverhältnifs und Gesamt-Verkehrskosten für verschiedene Werthe des Zugkraftskoeffizienten.

Zugkraftskoeffizient $z =$	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12
Zweckmäfsigste Steigung $s =$	0,0200	0,0212	0,0225	0,0239	0,0250
Gewicht eines Zuges $Q =$	144	158	170	180	192
Anzahl der jährlichen Züge	9722	8861	8235	7778	7292
Fahrgeschwindigkeit $v =$	5,63	5,00	4,50	4,09	3,75
Baukosten d. Anschlussstreck.	580000	580000	580000	580000	580000
Baukosten der Gebirgsrampen	300000	283000	266700	251000	240000
Betriebskosten auf den Anschlussstrecken	540400	521600	508500	500300	490900
Betriebskosten auf den Gebirgsrampen	249800	233300	220200	209400	200700
Summe der jährlichen Bau- und Betriebskosten	1670200	1617900	1575400	1540700	1511600

Man wird aus den früher angeführten Gründen im vorliegenden Falle mit dem Zugkraftskoeffizienten nicht über 0,09 hinaus oder doch höchstens bis 0,10 gehen dürfen, was noch durch eine Dreikuppler-Lokomotive möglich ist. Wenn auch nach der vorstehenden Tabelle bei einer Vergrößerung des Zugkraftskoeffizienten von 0,10 auf 0,12 an der Summe der Bau- und Betriebskosten noch etwa 4 Prozent gespart werden könnten, so würde doch in Wirklichkeit bei den dann erforderlichen Vierkuppler-Lokomotiven eine Erhöhung der Anschaffungs- und Unterhaltungskosten, ferner eine Vermehrung

der Reibungswiderstände der Maschinentheile und eine Verminderung der Fahrgeschwindigkeit eintreten. In Folge dieser Umstände würden sich Kostenerhöhungen ergeben, welche die berechnete Ersparung von 4 Prozent gewiß übertreffen.

Da es schwierig, ja kaum durchführbar ist, alle bei der Wahl des Zugkraftskoeffizienten in Frage kommenden Verhältnisse in voller Schärfe zu bestimmen und zu berücksichtigen, so wird auch der vortheilhafteste Werth der maßgebenden Steigung sich nur innerhalb gewisser Grenzen bestimmen lassen, die übrigens nur geringen Spielraum zulassen. In dem beispielsweise berechneten Falle wird man nicht zweifelhaft darüber sein können, daß der Zugkraftskoeffizient nicht kleiner als 0,09 und nicht größer als 0,11 angenommen werden darf, also das zweckmäßigste Steigungsverhältniß zwischen 0,021 und 0,024 liegen muß.

Es ist noch hervorzuheben, daß es nicht nöthig ist, das gefundene zweckmäßigste Steigungsverhältniß allzu ängstlich fest zu halten, da eine Abweichung um 10 Prozent von dieser zweckmäßigsten Steigung die Gesamtverkehrskosten noch nicht in bemerkenswerther Weise erhöht. Die Zahlenwerthe der folgenden Tabelle zeigen, daß eine Erhöhung des Steigungsverhältnisses von 0,0225 auf 0,030, also auf das $1\frac{1}{3}$ fache, die Gesamtverkehrskosten erst um etwa 2 Prozent, und eine Verflachung der Steigung von 0,0225 auf 0,015 also auf das $\frac{2}{3}$ fache diesen Kostenbetrag erst um etwa 5 Prozent steigern würde.

Zur Beurtheilung des Einflusses, welchen die Größe des Verkehrs auf den zweckmäßigsten Werth der maßgebenden Steigung äußert, mag die Angabe genügen; daß, wenn alle andern Verhältnisse die gleichen bleiben, für $T = 400\,000$, $s = 0,0251$, für $T = 600\,000$, $s = 0,0225$ und für $T = 800\,000$, $s = 0,0207$ sein muß.

Tabelle XIV.

Bau- u. Betriebskosten für die beispielsweise angenommene Bahnlinie, unter Zugrundelegung eines Zugkraftskoeffizienten $z = 0,1$, für verschiedene Größen der maßgebenden Steigung, in Einheiten von 1000 Mark.

Maßgebende Steigung	Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten		Betriebskosten auf		Summe der Bau- und Betriebskosten
	der Anschlußlinien	der Gebirgsstrecken	den Anschlußlinien	den Gebirgsstrecken	
0,015	580	422	377	220	1599
0,020	580	317	430	207	1534
0,021	580	302	441	206	1529
0,022	580	288	453	206	1527
0,023	580	275	465	206	1526
0,024	580	264	477	205	1526
0,025	580	253	489	205	1527
0,030	580	211	555	208	1554

Würden, während alle anderen Verhältnisse die gleichen bleiben, die kilometrischen Baukosten der Gebirgsrampen statt 320 000 Mark, wie in dem berechneten Beispiele angenommen wurde, nur 200 000 Mark betragen, so würde die zweckmäßigste Größe der maßgebenden Steigung nicht $s = 0,0225$ sondern $s = 0,0200$ sein, und falls die kilometrischen Baukosten = 400 000 Mark wären, sich zu $s = 0,0241$ ergeben.

Von unerheblicher Einwirkung ist die Größe der gleichwerthigen Steigung der Anschlußstrecken auf die günstigste maßgebende Steigung, denn wenn jene gleichwerthige Steigung statt $s_{II} = 0,006$ sein sollte $s_{II} = 0,008$, so müßte die maßgebende Steigung $s = 0,0223$ statt $s = 0,0225$ sein.

Hätte dagegen die gleichwerthige Steigung den geringsten möglichen Werth gleich dem Widerstandskoeffizienten, wie auch bei vollständig horizontaler Lage der Fall wäre, so würde der günstigste Werth der maßgebenden Steigung $s = 0,0229$ statt der, für eine gleichwerthige Steigung $s_{11} = 0,006$ berechneten Gröfse $s = 0,0225$ sein.

Weit erheblicher ist der Einfluß der Länge der Anschlußstrecken. Wäre das Verhältniß m der Länge der Anschlußstrecken zu der zu ersteigenden Höhe $= 300$, so müßte die maßgebende Steigung $s = 0,0176$ sein, welche für $m = 150$ zu $s = 0,0225$ gefunden wurde. Wäre dagegen m nur gleich 75, so müßte $s = 0,0279$ sein und im Grenzfalle für $m = 0$ sogar $s = 0,0425$ gewählt werden.

Bei den Rechnungen, welche zu der Formel für den zweckmässigsten Werth der maßgebenden Steigung führten, wurden die kilometrischen Baukosten A als unabhängig von dem Steigungsverhältnisse angenommen, während in Wirklichkeit die Baukosten für die Längeneinheit nicht gleich groß bei verschiedenen Steigungsverhältnissen ausfallen. Man wird daher nach Berechnung des günstigsten Steigungsverhältnisses prüfen müssen, ob sich dasselbe auch wirklich mit den im Voraus für die Rechnung angenommenen Baukosten wird durchführen lassen und wird dann oft mit einem verbesserten Werthe der kilometrischen Anlagekosten die Rechnung wiederholen müssen. Ist dann schließlich dasjenige Neigungsverhältniß gefunden, welches den Baukosten entspricht, so können folgende Fälle vorkommen:

1. Der gefundene zweckmässigste Werth der maßgebenden Steigung ist kleiner als das Steigungsverhältniß einzelner Strecken der Anschlußlinien. Dann sind diese letzteren Strecken aus der Länge l der Anschlußlinien auszuscheiden und mit der von ihnen erstiegenen Höhe h der Steigungshöhe

der Wasserscheiden-Uebergänge hinzuzufügen. Die Rechnung zur Ermittlung des günstigsten Steigungsverhältnisses wird dann mit der verbesserten kleineren Verhältnisszahl m zu wiederholen sein und zu einem etwas grössern Werthe der günstigsten Steigung führen.

2. Die gefundene günstigste Steigung ist steiler als irgend ein auf den Anschlußlinien vorkommendes Steigungsverhältniss, aber doch so flach, daß sie für die Ueberschreitung der Wasserscheide nur durch künstliche Längenentwicklung erreichbar ist. Dann ist die Aufgabe gelöst und die Trasse dementsprechend festzulegen.

3. Die gefundene günstigste Steigung weicht so wenig von der allgemeinen Neigung des Thalweges ab, daß sie durch vermehrte Unterbau-Arbeiten, ohne Längenentwicklung der Linie, durchführbar ist. Dann ist nach § 24 die Untersuchung über die günstigste Grösse der maßgebenden Steigung weiter zu führen.

4. Der für das Steigungsverhältniss ermittelte günstigste Werth ist steiler als die Steigung der zur Untersuchung gezogenen Strecken der Trasse. Falls dann eine Verkürzung dieser Strecken, durch welche sie der günstigsten Steigung sich mehr nähern, nicht möglich ist, sind die flacheren Steigungsverhältnisse natürlich beizubehalten. Es bleibt nach § 24 aber noch zu untersuchen, ob nicht sogar eine weitere Verflachung derselben ohne Vermehrung der Länge vortheilhaft ist.

5. Die Längen der Anschlußstrecken wie auch die Länge der eigentlichen Gebirgsrampen sind so lang, daß es rathsam erscheint, die Züge, welche auf den Anschlußlinien verkehren, nicht unverändert auf die Gebirgsstrecken übergehen zu lassen, sondern die ganze Linie in gesonderte Betriebsstrecken zu zerlegen, der Art, daß die Züge der Anschlußstrecken auf den Gebirgsrampen getheilt oder mit

Vorspann befördert werden. Dann ist die Untersuchung über die günstigste Gröfse der maßgebenden Steigung nach § 25 weiter zu führen.

6. Die zu ersteigende Höhe ist so gering, daß es unzweckmäfsig erscheint, die dabei anzuwendende Steigung als maßgebende für die ganze übrige Länge der Trasse anzunehmen, sondern daß es vorzuziehen ist, diese geringe Höhe mit steiler Steigung unter theilweiser Aufzehrung der in den Eisenbahnzügen aufgespeicherten lebendigen Kraft zu ersteigen, sie also als Anlaufsteigung zu betreiben. Dies ist dann nach § 26 zu untersuchen.

§ 24.

Zweckmäfsigste Gröfse der maßgebenden Steigung ohne Längen-Entwicklung.

Ist es möglich, die Neigungsverhältnisse einer Bahn festzustellen, ohne daß an irgend einer Stelle eine Längen-Entwicklung der Trasse vorgenommen wird, bleiben also die Länge der Linie, die Gröfse der zu ersteigenden Höhen und die Kurven unverändert, wie auch die Neigungsverhältnisse angeordnet werden, so bleibt auch die Gröfse der gleichwerthigen Steigung unverändert.

Bei Ermittlung des günstigsten Werthes der maßgebenden Steigung kann man in diesem Falle die in § 13 angegebenen einfachen Formeln für die Betriebskosten benutzen, wonach bei einer maßgebenden Steigung s , einer gleichwerthigen Steigung s_{11} , einer Länge der Trasse l und für einen Verkehr von P Personen und T Tonnen Nutzlast die Betriebskosten in Pfennigen sind:

$$(Gl.32.) K = P(0,967 + 10^2/3s + 29^{1/3}s_{11})l + T(0,56 + 23^{1/3}s + 39^2/3s_{11})l.$$

Diese einfache Formel für die Betriebskosten konnte bei den Untersuchungen des vorhergehenden § über die günstigste Steigung bei Längen-Entwicklung der Trasse nicht benutzt werden, weil sie unter der Voraussetzung abgeleitet ist, daß der Zugkraftskoeffizient $z = 0,05 + 2s$ für die Güterzüge und $z = 0,02 + 2s$ für die Personenzüge ist, welche nur bis zu einem Steigungsverhältnisse $s = 0,025$ oder höchstens bis zu 0,030 zutreffend ist. Bei dem hier zu untersuchenden Falle, wo der zweckmäfsigste Werth der maßgebenden Steigung ohne Längenentwicklung erreicht wird, bleibt man stets weit unter jener Grenze, während derselbe in dem Falle, wo eine Längenentwicklung der Trasse angenommen wird, bei Festhaltung dieses Verhältnisses zwischen dem Zugkraftskoeffizienten und der maßgebenden Steigung leicht überschritten werden könnte. Es war daher geboten, die allgemeinen Untersuchungen des vorhergehenden § ohne Voraussetzung einer solchen Beziehung des Zugkraftskoeffizienten durchzuführen.

Im vorliegenden Falle ist der, von der Gröfse der maßgebenden Steigung abhängige Theil der Betriebskosten.

$$(Gl. 33.) \quad K_1 = (10^{2/3} P + 23^{1/3} T) sl.$$

Meistens wird man, unter Benutzung dieser Formel, die zweckmäfsigste Gröfse der maßgebenden Steigung nur durch Versuchsrechnungen finden können, indem man für eine Reihe von Werthen der maßgebenden Steigung die Baukosten bestimmt und diesen von s abhängigen Theil der Betriebskosten hinzufügt.

Nur in einzelnen Fällen wird es möglich sein, die Baukosten allgemein als Funktion von s darzustellen und den günstigsten Werth von s unmittelbar durch Differentiation zu bestimmen.

Wäre z. B. eine eingleisige Lokalbahn über eine vorhandene Bahn in 6 m Höhe zu überführen, so würde bei

5 m Kronenbreite und bei $1\frac{1}{2}$ fachen Böschungen der Querschnitt der Rampe am höchsten Punkte 84 qm, in der Mitte 28,5 qm, also durchschnittlich $= \frac{1}{6} (84 + 4 \cdot 28,5 + 0) = 33$ qm sein. Bei einem Steigungsverhältnisse s wäre die Länge der beiderseitigen Rampen zusammen $= \frac{12}{s}$, mithin der kubische Inhalt derselben $= \frac{396}{s}$ Kubikmeter und bei einem Kostenbetrage von 1 Mark für den kbm die Summe der Erdbaukosten $= \frac{396}{s}$ Mark, was bei einem Zinsfusse von 4 Prozent einem Jahresbetrage von rund $\frac{16}{s}$ Mark gleichkommt.

Wäre der Jahresverkehr auf der 25 Km langen Bahn $T = 80\,000$ und $P = 30\,000$, so wären die von s abhängigen Betriebskosten:

$$K_1 = (10^{2/3} \cdot 30\,000 + 23^{1/3} \cdot 80\,000) \frac{25\,s}{100} = 546666\,s \text{ Mark.}$$

Der ganze, von s abhängige Theil der Bau- und Betriebskosten wäre also:

$$S = \frac{16}{s} + 546666\,s.$$

Hieraus findet man durch Differentiation nach s den günstigsten Werth der maßgebenden Steigung zu:

$$s = \sqrt[3]{\frac{16}{546666}} = 0,0054.$$

Den Rampen ist natürlich nur dann dieses, für die ganze Bahn zur maßgebenden Steigung werdende Neigungsverhältniß zu geben, wenn in der übrigen Erstreckung der Linie

kein steileres Neigungsverhältniß vorkommt. Wäre dagegen das letztere der Fall, so müßte die gleichzeitige Verflachung aller steileren Strecken zugleich mit der Untersuchung des zweckmässigsten Neigungsverhältnisses der Rampen in Rechnung gezogen werden.

Begreiflicher Weise wird unter allen Umständen der günstigste Werth der maßgebenden Steigung, wenn diese ohne Verlängerung der Linie lediglich durch verstärkte Erdarbeiten erreicht wird, weit kleiner als für Trassen mit künstlicher Längen-Entwicklung.

§ 25.

Zweckmässigste Gröfse der maßgebenden Steigung bei Vorspanndienst oder bei Theilung der Züge.

Kommen die steilen Steigungen nicht auf verschiedenen getrennten Strecken der Bahn vor, sondern bilden sie einen zusammenhängenden Theil der Linie, so wird man in den meisten Fällen die ganze Linie nicht mit unverändert bleibenden Zügen befahren, weil dies zu flache Steigungen auf der Gebirgsstrecke oder zu schwache Züge auf den anschließenden Thalstrecken erforderlich machen würde. Ebenso wenig zweckmässig würde es aber sein, den Betrieb am Fufse der Gebirgsstrecke vollständig zu unterbrechen und hier ganz neue Züge zu bilden. Man wird die von den flacheren Thalstrecken kommenden Züge mit möglichst geringer Aenderung ihrer Zusammensetzung über die steilere Gebirgsstrecke zu befördern suchen, indem man sie mit einer einzigen Lokomotive von stärkerer Zugkraft oder mit zwei Lokomotiven oder auch, was im Grunde auf dasselbe hinauskommt, in zwei oder drei getrennten Theilen mit je einer Lokomotive über die Gebirgsstrecke schafft.

Bei den hierbei vorzunehmenden Rechnungen wird man annehmen können, daß bei Verwendung schwererer Lokomotiven der von der Zugkraftsleistung unabhängige Theil B_0 der Kosten eines Lokomotiv-Kilometers proportional dem Lokomotivgewichte wächst, so daß z. B. dieser Betrag B_0 , welcher für ein Lokomotivgewicht (einschl. des Tenders) von 60 Tonnen zu 32 Pfg. ermittelt wurde, für eine Lokomotive von 72 Tonnen auf $1,2 \cdot 32 = 38,4$ wächst. Es rechtfertigt sich diese Annahme wegen des höhern Anschaffungspreises, der höhern Unterhaltungskosten und der stärkeren Schienenabnutzung, sowie wegen der größern persönlichen Ausgaben, welche in Folge der langsamern Fahrgeschwindigkeit dieser schweren Lokomotiven auf den Kilometer entfallen. Es wird daher, wie schon am Schlusse des § 13 hervorgehoben wurde, ein Zug von $Q_1 = 150$ Tonnen Gewicht, welcher von einer Lokomotive von $L_1 = 72$ Tonnen Gewicht befördert wird, 1,2 mal so theuer sein als ein Zug von $Q = 125$ Tonnen mit einer Lokomotive von $L = 60$ Tonnen Gewicht. Um stets mit dem gleichen Lokomotivgewichte $L = 60$ Tonnen und dem gleichen Werthe $B_0 = 32$ Pfg. rechnen zu können, soll mithin das wirkliche Gewicht Q_1 der auf den Gebirgsstrecken mit Lokomotiven von L_1 Gewicht beförderten Züge stets auf ein Gewicht Q berechnet werden, welches auf ein Lokomotivgewicht $L = 60$ Tonnen entfallen würde. Würden beispielsweise auf der Gebirgsstrecke Züge von $Q_1 = 300$ Tonnen Gewicht durch zwei Lokomotiven von je 72 Tonnen Gewicht befördert, so würden statt eines solchen Zuges je 2,4 Züge von je $Q = 125$ Tonnen und mit einer Lokomotive von $L = 60$ Tonnen Gewicht in Rechnung gestellt werden. Die auf den Anschlussstrecken von einer Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht beförderte Zuglast wird dann als ein Vielfaches tQ in Rechnung gestellt, so daß also für den Fall, daß der erwähnte

Zug von 300 Tonnen auf den Anschlußstrecken durch eine Lokomotive von 60 Tonnen fortgeschafft wird, die Verhältnisszahl $t = 2,4$ wäre.

Die Ausscheidung der gesondert betriebenen Gebirgsstrecke läßt sich nicht immer der Art vornehmen, daß innerhalb derselben durchweg die maßgebende Steigung s vorkommt, sondern es werden neben der entwickelten Linie, durch welche mit der Steigung s die Höhe h_1 erstiegen wird, auch noch flacher geneigte Strecken von der Gesamtlänge l und mit der gleichwerthigen Steigung s_{II} vorkommen.

Zur Ermittlung des günstigsten Werths der maßgebenden Steigung sind dann, wie in § 23, die Bau- und Unterhaltungskosten der entwickelten Linie:

$$K_0 = (Ai + U) \frac{h_1}{s}$$

sowie die Betriebskosten der ganzen Gebirgsstrecke:

$$K_I = \left\{ f + es + \frac{1/2 (B_1 + B_0) (w + s)}{(z - w - s) L} \right\} \frac{b T h_1}{s}$$

und

$$K_{II} = \left\{ f + es + \frac{B_0 (w + s) + 1/2 (B_1 - B_0) (w + s_{II})}{(z - w - s) L} \right\} b T l$$

zu bestimmen und hierzu die Betriebskosten der Anschlußlinie, welche mit einem Zuggewichte tQ befahren werden, zu addiren. Ist die Länge dieser letzteren Strecken l_1 und ihre gleichwerthige Steigung s_1 und die auf ihnen vorkommende größte Steigung s_{III} , so sind diese Betriebskosten:

$$K_{III} = \left\{ f + es_{III} + \frac{B_0 + \frac{a}{2} (tQ + L) (w + s_1)}{tQ} \right\} b T l_1$$

oder da:

$$Q = \frac{(z - w - s) L}{w + s}$$

ist:

$$K_{III} = f + e s_{III} + \frac{B_0 (w + s)}{t L (z - w - s)} + \frac{1/2 a z (w - s_1)}{z - w - s} \{ b T l_1.$$

Wird jetzt die Summe der Kosten:

$$K = K_0 + K_1 + K_{II} + K_{III}$$

nach Potenzen von s geordnet und nach s differentiirt, werden

ferner $\frac{l}{h_1} = m$, $\frac{l_1}{h_1} = m_1$, $1/2 (B_1 + B_0) = B$, die kilometri-

schen Lokomotivkosten $B_0 + 1/2 a L (w + s_{II}) = B_{II}$ sowie

$B_0 + 1/2 a L (w + s_1) = B_{III}$, und die auf gerader horizon-

taler Bahn erforderliche Zugkraft $\frac{b T w}{(z - w) L} = n$ gesetzt, so

erhält man nach den gleichen Umformungen wie in § 23:

$$(Gl. 34.) s = \frac{z - w}{1 + \sqrt{\frac{z}{w} \cdot \frac{B + m(z - w) \left\{ B_{II} + \frac{e L}{z} (z - w)^2 \right\} + \frac{m_1}{t} (z - w) B_{III}}{B + \frac{1}{n} (A i + U + f b T)}}$$

Zur Berechnung eines Beispiels möge die Linie zu Grunde gelegt werden, für deren einheitlichen zusammenhängenden Betrieb in § 23 bei einem Zugkraftskoeffizienten $z = 0,1$ als günstigster Werth $s = 0,0225$ gefunden wurde.

Dabei waren $L = 60$ und $T = 600\,000$ Tonnen, $b = 2^{1/3}$, $w = 0,0036$, $s_{II} = 0,006$, $i = 0,04$, ferner die Kostenbeträge

in Pfennigen: $B_0 = 32$, $a = 25$, $B = B_0 + \frac{a z L}{2} = 32 +$

$1/2 \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 60 = 107$, $e = 2$, $A = 32\,000\,000$, $U = 300\,000$,

$f = 0,15$, und endlich die Zugzahl auf horizontaler Bahn:

$$n = \frac{2^{1/3} \cdot 600\,000 \cdot 0,0036}{(0,1 - 0,0036) 60} = 871.$$

Werden jetzt, statt eines einheitlichen zusammenhängenden Betriebes, auf der Gebirgstrecke die Züge durch zwei Lokomotiven oder in zwei Hälften durch je eine Lokomotive befördert, so wird also die Verhältnisszahl t in der Formel $= 2$. Fallen in die mit zwei Lokomotiven betriebene Gebirgstrecke 6 Km mit einer gleichwerthigen Steigung $s_{11} = 0,006$, so wird,

$$m = \frac{6}{0,4} = 15 \text{ und es verbleibt eine Länge } 60 - 6 = 54 \text{ Km,}$$

welche mit einer Lokomotive betrieben wird, so daß also

$$m_1 = \frac{54}{0,4} = 135 \text{ und } s_1 = 0,006 \text{ ist.}$$

Man erhält dann als günstigsten Werth der maßgebenden Steigung:

$$s = 0,0287.$$

Die Züge auf der Gebirgsbahn erhalten dann ein Gewicht:

$$Q = \frac{(0,1 - 0,0036 - 0,0287)}{0,0036 + 0,0287} \cdot 60$$

$= 126$ Tonnen, auf den anschließenden Strecken also von 252 Tonnen. Ist das stärkste Steigungsverhältniß in diesen letzteren Strecken $= 0,010$ mit Kurven von 500 m Halbmesser, so ist die erforderliche äußerste Zugkraft $z = (252 + 60)(0,010 + 0,002 + 0,0036) = 4,867$ Tonnen.

Würden auf der Gebirgstrecke aber zwei Lokomotiven von je 72 Tonnen Gewicht zur Fortschaffung eines Zuges verwendet, so würde die Verhältnisszahl $t = \frac{2 \cdot 72}{60} = 2,4$

verwendet, so würde die Verhältnisszahl $t = \frac{2 \cdot 72}{60} = 2,4$

und die günstigste maßgebende Steigung:

$$s = 0,0298.$$

Das Zuggewicht wäre alsdann:

$$tQ = \frac{(0,1 - 0,0036 - 0,0298)}{0,0036 + 0,0298} \cdot 2 \cdot 72 = 288 \text{ Tonnen}$$

und die größte Zugkraft auf den Anschlussstrecken.

$$Z = (288 + 60)(0,010 + 0,002 + 0,0036) = 5,429$$

Tonnen, was also noch unter der Leistungsfähigkeit einer Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht mit einem Zugkraftskoeffizienten von 0,1 bleibt.

Nachdem durch diese Rechnungen das günstigste Steigungsverhältniß für gesonderten Betrieb der Gebirgsstrecke bestimmt ist, muß untersucht werden, ob überhaupt eine Zerlegung der ganzen Linie in verschiedenen Betriebsstrecken vortheilhaft ist und sodann, welches Maß der Verstärkung der Zugkraft auf der ausgeschiedenen Gebirgsstrecke sich am meisten empfiehlt.

Für den Fall, daß auf der Gebirgsstrecke die Züge in zwei Theile zerlegt werden, von welchen jeder durch eine Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht und mit einem Zugkraftskoeffizienten $z = 0,1$ befördert wird, oder der auf den anschließenden Strecken mit einer solchen Lokomotive fortgeschaffte Zug auf der Gebirgsstrecke eine zweite Lokomotive gleicher Art zum Vorspann oder zum Schieben erhält, stellen sich für das in diesem Falle günstigste Steigungsverhältniß s die Kosten, wie folgt:

1) Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten der 60 Km langen Strecke mit einer gleichwerthigen Steigung $s_{11} = 0,006$ (nach § 23)	580 000 Mk.
2) Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten der mit der Steigung $s = 0,0287$ entwickelten Linie zur Erreichung der Höhe von 0,4 Km	220 000 „
3) Betriebskosten auf der letztgenannten Strecke	207 000 „
4) Betriebskosten auf den 6 Km langen Strecken mit einer gleichwerthigen Steigung $s_{11} = 0,006$, welche im Zusammenhange mit den Gebirgsstrecken betrieben werden	54 000 „
5) Betriebskosten auf den 54 Km langen Strecken, welche mit einer Lokomotive befahren werden	337 000 „
zusammen	<u>1 398 000 Mk.</u>

Für den andern Fall, daß auf der Gebirgsstrecke zur Förderung des Zuges, welcher auf den anschließenden Strecken mit einer Lokomotive von 60 Tonnen Gewicht fortgeschafft wurde, zwei Lokomotiven von 72 Tonnen Gewicht verwendet werden, sind die oben angegebenen Kosten, der Reihe nach, $580 + 201 + 209 + 56 + 336 = 1392$ Tausend Mark.

Man wird von den beiden hier in Rechnung gezogenen Betriebsweisen im vorliegenden Falle offenbar der ersten den Vorzug geben müssen, den die im zweiten Falle entstehende geringe Ersparung von jährlich 6000 Mark oder von nicht ganz $\frac{1}{2}$ Prozent wird den in diesen Rechnungen nicht in Rücksicht gezogenen Nachtheil, nicht auszugleichen vermögen, daß man für die Gebirgsstrecken ganz abweichend konstruirte Lokomotiven wie für die anschließenden flachern Strecken braucht und in Folge dessen einen weit größeren, kostspieligeren und weniger zur Ausnutzung gelangenden Lokomotiv-Park halten muß.

Die Ausschaltung der Gebirgsstrecke als gesonderte Betriebsstrecke bietet aber im Vergleich mit dem ungetheilten zusammenhängenden Betriebe der ganzen Linie, wie eine Berücksichtigung der Rechnungen des § 23 zeigt, den sehr erheblichen Vortheil einer Ersparung von $1526 - 1398 = 128$ Tausend Mark jährlich. Erfährt dieser Vortheil auch eine Abschwächung durch das Erforderniß ausgedehnterer Bahnhofsanlagen an beiden Endpunkten der Gebirgsstrecke, durch den längeren Aufenthalt der Züge an diesen Bahnhöfen und durch die auch in diesem Falle erforderliche größere Anzahl der nicht so gut ausnutzbaren Lokomotiven, so verbleibt doch ein sehr beträchtlicher Vortheil übrig:

Uebrigens braucht man auch in diesem Falle an das berechnete günstigste Steigungsverhältniß sich nicht allzu ängstlich zu halten, da nicht zu weit gehende Ab-

weichungen von demselben die Gesamtkosten nicht erheblich erhöhen.

Die für die zweckmässigste Steigung im Vorstehenden gegebene Formel, wie auch die im § 23 für die einheitliche Durchführung des Betriebes entwickelte Formel werden überhaupt nur zur Gewinnung eines Anhaltspunktes zu benutzen sein, da die bei Herleitung dieser Formeln zu Grunde gelegte Voraussetzung, daß die kilometrischen Anlagekosten für alle Steigungsverhältnisse die gleichen bleiben, in Wirklichkeit nur mehr oder minder annähernd erfüllt wird. Außerdem ist die Annahme, daß die Betriebskosten für den Personen-Kilometer gleich denen für den Nutz-Tonnenkilometer seien, ebenfalls nicht ganz zutreffend. Man wird deshalb, nachdem durch die Formel der zweckmässigste Werth der maßgebenden Steigung berechnet ist, mit verschiedenen, dem gefundenen Werthe naheliegenden Steigungsverhältnissen Entwürfe bearbeiten müssen und für jeden derselben die Baukosten sowie die Betriebskosten für den Güter- und Personenverkehr zu ermitteln haben, um das zweckmässigste Steigungsverhältniß, für welches die Gesamt-Verkehrskosten am kleinsten werden, zu finden.

§ 26.

Anlaufsteigung.

Steile Rampen von geringer Länge, für deren Ueberwindung die Zugkraft der Lokomotive nicht ausreicht, können unter theilweiser Ausnutzung der lebendigen Kraft des Zuges oder, wie man zu sagen pflegt, durch Anlauf erstiegen werden.

Ist die Geschwindigkeit, mit welcher der Zug am Fußpunkte der Rampe anlangt, $= v_1$ und soll der Zug am oberen Endpunkte der Rampe noch eine Geschwindigkeit $= v_0$ haben, so ist die lebendige Kraft, welche beim Ersteigen der Rampe zur Unterstützung der Lokomotive ausgenutzt werden kann:

$$\beta \frac{(Q + L)}{2g} (v_1^2 - v_0^2)$$

worin β ein Koeffizient ist, durch welchen der Zuwachs in Rechnung gebracht wird, den die der fortschreitenden Bewegung des Zuges entsprechende lebendige Kraft durch die umdrehenden Massen der Räder und Achsen erfährt. Als ziemlich zutreffender Mittelwerth kann $\beta = 1,08$ angenommen werden.

Der mit der Verminderung der Geschwindigkeit abnehmende Zugwiderstand auf einer mit dem Steigungsverhältnisse s_1 ansteigenden Rampe ist:

$$(Q + L) (a + b v^2 + s_1)$$

worin nach § 7 Seite 34

$$a = 0,00273 \text{ und } b = 0,0000131$$

zu setzen ist.

Nach Abzug der von der Lokomotive geleisteten Zugkraft zL bleibt auf eine Länge dl von der lebendigen Kraft des Zuges eine Arbeitsleistung abzugeben.

$$\{(Q + L) (a + b v^2 + s_1) - zL\} dl.$$

Da die aufgezehrte lebendige Kraft des Zuges bei einer Verminderung der Geschwindigkeit um dv die Gröfse $\frac{\beta (Q + L)}{g} v dv$ hat, so erhält man die Gleichung:

$$\{(Q + L) (a + b v^2 + s_1) - zL\} dl = \frac{\beta (Q + L)}{g} v dv$$

oder

$$dl = \frac{\beta}{g} \frac{v dv}{a + b v^2 + s_1 - \frac{zL}{Q + L}}.$$

Ist die maßgebende Steigung der Bahn s , so daß die Gleichung:

$$(Q + L) (w + s) = z L$$

besteht, so ist auch:

$$dl = \frac{\beta}{g} \frac{v dv}{a + b v^2 + s_1 - w - s}$$

oder da $w = a + b v_1^2$ ist:

$$dl = \frac{\beta}{g} \cdot \frac{v dv}{b (v^2 - v_1^2) + s_1 - s}.$$

Hieraus erhält man durch Integration die Länge der Rampe, welche bei einem Steigungsverhältnisse $s_1 > s$ erstiegen werden kann, während die Geschwindigkeit des Zuges von v_1 auf v_0 abnimmt, zu:

$$(Gl. 35) \dots l = \frac{\beta}{2 b g} \operatorname{tg.} n t \frac{s_1 - s}{b (v_0^2 - v_1^2) + s_1 - s}.$$

Setzt man die GröÙe der Beschleunigung der Schwerkraft $g = 9,81$ ein, ferner $\beta = 1,08$, $b = 0,0000131$, $v_1 = 7$ und $v_0 = 3$, so erhält man beispielsweise für eine maßgebende Steigung $s = 0,0036$ die Länge einer Anlaufsteigung von s_1 Steigung zu:

$$l = 4202 \operatorname{tg.} n t \frac{s_1 - 0,0036}{s_1 - 0,004124}.$$

Die folgende Tabelle XV enthält die Längen der Anlaufsteigung für verschiedene Steigungsverhältnisse und für die maßgebenden Steigungen 0,0036, 0,01 und 0,025.

Tabelle XV.

Mögliche Länge der Anlaufsteigungen.

Steigungsverhältnisse der Anlaufsteigung	Länge der Anlaufsteigung in Met. für eine maßgebende Steigung =		
	0,0036	0,010	0,025
0,05	48	55	89
0,025	104	149	—
0,010	369	—	—
0,005	1970	—	—

Man kann aber mit einer für den praktischen Gebrauch vollständig befriedigenden Genauigkeit die Länge der Anlaufsteigung in einfacherer Weise berechnen, wenn man auf die Abnahme des Widerstandskoeffizienten mit der sich vermindern den Geschwindigkeit nicht Rücksicht nimmt, sondern den Widerstandskoeffizienten als gleichbleibend betrachtet.

Man erhält dann aus der Gleichung:

$$l \{ (Q + L) (w + s_1) - z L \} = \frac{\beta (Q + L)}{2 g} (v_1^2 - v_0^2)$$

ohne Weiteres:

$$l = \frac{\beta}{2 g} \frac{v_1^2 - v_0^2}{\left(w + s_1 - z \frac{L}{Q + L} \right)}$$

oder durch Einführung der maßgebenden Steigung aus der Gleichung $(Q + L) (w + s) = z L$ die einfachere Formel:

$$(Gl. 36) \quad . \quad . \quad . \quad l = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g (s_1 - s)}.$$

Hiernach sind die Werthe der Tabelle XVI berechnet, welche mit den genaueren Werthen der Tabelle XV eine völlig genügende Uebereinstimmung zeigen.

Tabelle XVI.

Mögliche Länge der Anlaufsteigung, nach annähernder Rechnung.

Steigungsverhältnisse der Anlaufsteigung	Länge der Anlaufsteigung in Met. für eine maßgebende Steigung $s =$		
	0,0036	0,010	0,025
0,05	47	55	88
0,025	103	147	—
0,010	344	—	—
0,005	1573	—	—

Die durch die Anlaufsteigung erstiegene Höhe $h = l s_1$ ist nach der zuletzt gegebenen einfachen Formel für l gleich:

$$h = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g} \cdot \frac{s_1}{s_1 - s}.$$

Sollte diese Höhe ohne Anlauf also mit der maßgebenden Steigung s erstiegen werden, so müßte die Rampe eine Länge;

$$l_1 = \frac{h}{s} = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g} \cdot \frac{s_1}{s (s_1 - s)}$$

erhalten. Es läßt sich also durch eine Verlängerung $l_{11} = l_1 - l$ die Anlauframpe in eine maßgebende Steigung umändern, wofür man erhält:

$$l_{11} = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g (s_1 - s)} - \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2) s_1}{2 g s (s_1 - s)}$$

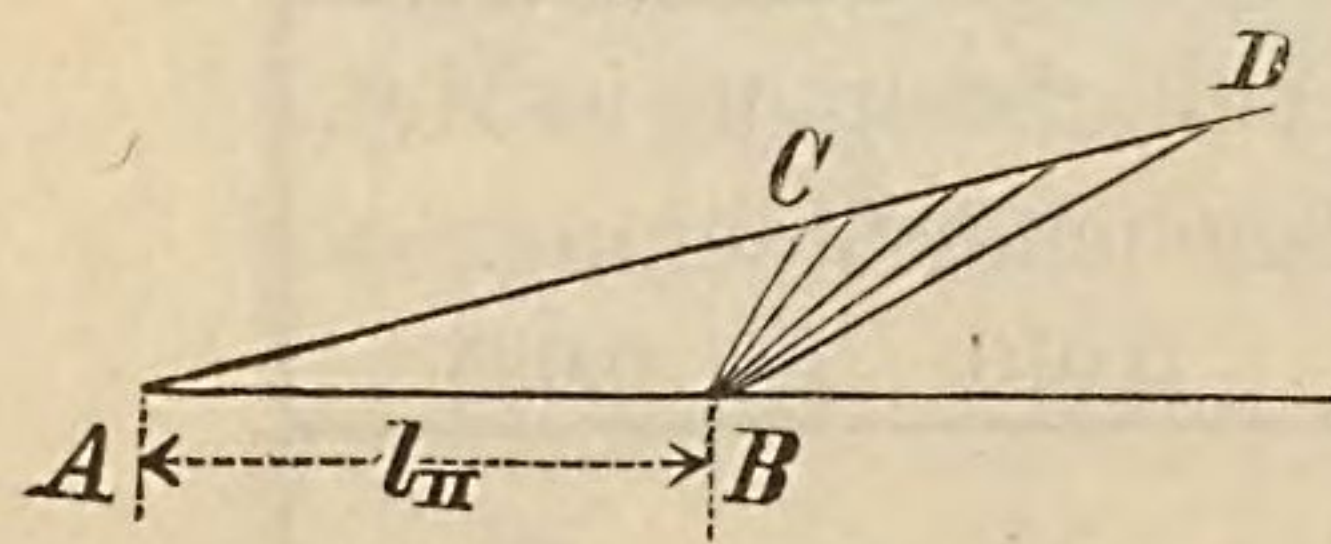
also:

$$(Gl. 37.) \quad l_{11} = \frac{\beta (v_1^2 - v_0^2)}{2 g} \cdot \frac{1}{s}.$$

Das Maß der Verlängerung, durch welche eine Anlauf-rampe zu der maßgebenden Steigung umgeändert werden kann, ist also umgekehrt proportional der maßgebenden Steigung aber sonst das gleiche für alle verschiedenen Steigungsverhältnisse der Anlauframpe.

Trägt man daher dieses Maß l_{11} vom Fußpunkte der Anlauframpe B (Fig. 12) von B nach A auf und zieht von

Fig. 12.



A die mit der maßgebenden Steigung ansteigende Linie ACD , so kann die von B ausgehende Anlauframpe BC oder BD stets nur bis zum Schnitt mit der

maßgebenden Steigung ACD geführt werden.

Für die angenommenen Zahlenwerthe $v_1 = 7$, $v_0 = 3$, $\beta = 1,08$ und für $g = 9,81$ ist:

$$l_{11} = \frac{2,2}{s}$$

also ist für $s = 0,0036$, $l_{11} = 611$ m, für $s = 0,010$, $l_{11} = 220$ m, für $s = 0,025$, $l_{11} = 88$ m.

Am Fußpunkte der Anlauframpe wäre in allen Fällen eine Aufhöhung $\beta \frac{(v_1^2 - v_0^2)}{2g}$ erforderlich, wenn statt derselben die maßgebende Steigung hergestellt werden sollte, also für $v_1 = 7$ m und $v_0 = 3$ m eine Aufhöhung um 2,2 m. Es ist dies die Höhe, um welche das Gewicht des Zuges fallen müßte, um die bei Ersteigung der Anlauframpe verlorene lebendige Kraft wieder zu erhalten.

Der Betrieb einer Anlauframpe kostet, nachdem die beim Ersteigen derselben verlorene lebendige Kraft wieder ersetzt ist, genau den gleichen Dampfverbrauch wie die Erreichung der gleichen Höhe durch die maßgebende Steigung, ist in dieser Beziehung also nicht nachtheilig. Der Zeitverlust, welchen die Anlauframpen herbeiführen und die Betriebsstörungen, welche durch sie verursacht werden können, falls die Zuggeschwindigkeit und die Unterhaltung des Lokomotivfeuers nicht sorgsam geregelt werden, lassen es als rathsam erscheinen, die Anlauframpen wenn irgend möglich zu vermeiden. Es kommt noch hinzu, daß steile und daher kurze Anlauframpen kaum die wünschenswerthe Ausrundung in den Gefällwechseln gestatten.

§ 27.

Verlorene Steigung.

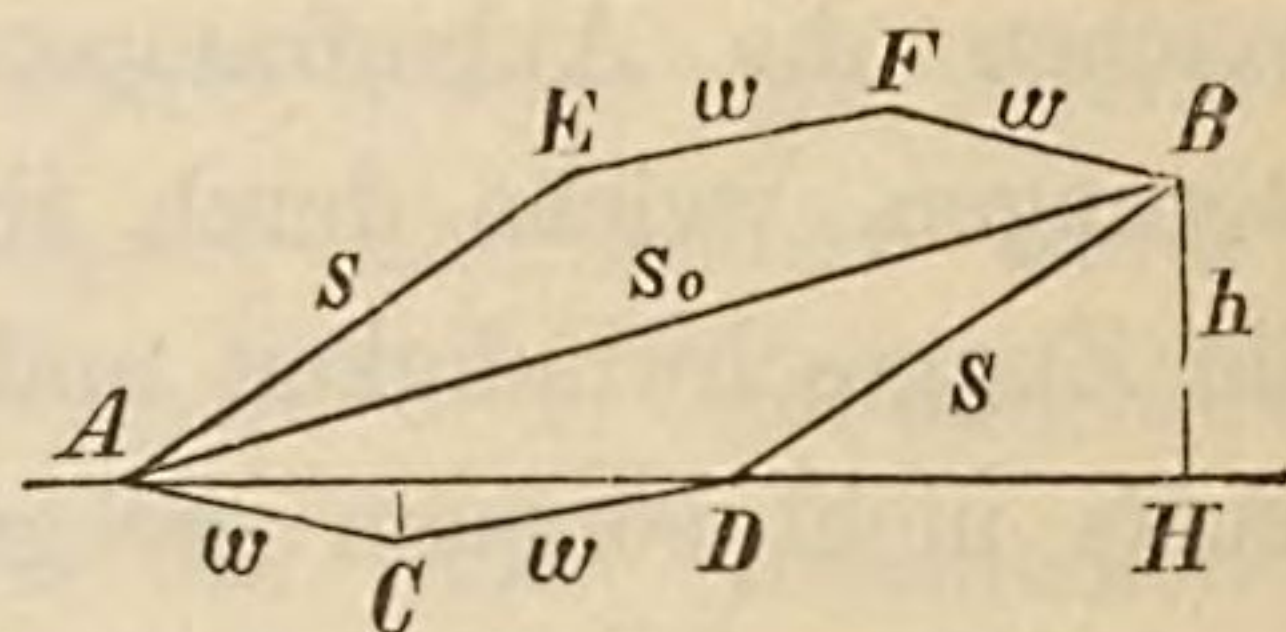
Beim Verkehr auf Strassen verursacht jede Abweichung von der einheitlichen Steigung eine Erhöhung der Betriebskosten*); für den Eisenbahnbetrieb ist dies anders. Es ist

*) Vergl. Theorie des Trafsirens, Heft III. oder auch: Launhardt, Die Steigungsverhältnisse der Strafsen. Hannover, Schmorl u. v. Seefeld. 1880.

zwischen zwei Punkten von beliebigem Höhenunterschiede bei Eisenbahnen nur dann die einheitliche Steigung unter allen Umständen für den Verkehr am günstigsten, wenn diese einheitliche Steigung zugleich die maßgebende Steigung wird, da der Betrieb um so billiger ist, je kleiner die maßgebende Steigung ist. Sollen dagegen, während die maßgebende Steigung durch andere Strecken der Trasse gegeben ist, zwischen zwei Punkten A und B , welche eine horizontale Entfernung l und einen Höhenabstand h haben, die Steigungsverhältnisse, ohne Berücksichtigung der Kosten des Bahnbaus, lediglich für den Betrieb am günstigsten festgestellt werden, so sind zwei Fälle zu unterscheiden und zwar ob die einheitliche Steigung $\frac{h}{l}$ eine unschädliche, also kleiner als w ist, oder ob sie eine schädliche, mithin grösser als w ist.

Liegt in Fig. 13 der Punkt B in horizontaler Linie AH um l von A entfernt und um h höher, ist ferner die von A nach B geführte einheitliche Steigung $\frac{h}{l} = s_0$ kleiner als w , so ist

Fig. 13.



die zur Fortschaffung eines Zuggewichtes Q von A nach B erforderliche Zugkraftleistung der Lokomotive auf dieser einheitlichen Steigung für die Bergfahrt:

$$(Q + L) (w + s_0) l = (Q + L) (wl + h)$$

Stellt man statt der einheitlichen Steigung AB eine von B mit der maßgebenden Steigung s bis D um die Höhe h niedergeführte Linie her und ferner von A und D mit dem Neigungsverhältnisse w bis zum Schnittpunkte C fallende Linien, so ist die erforderliche Zugkraftleistung der Lokomotive auf der

gebrochenen Steigungslinie $ACDB$; wenn $DH = l_1$ und $AG = GD = \frac{1}{2}l_{11}$ gesetzt wird:

auf der Strecke $AC = 0$

auf der Strecke $CD = (Q + L)(\omega + \omega)^{\frac{1}{2}} l_{11}$

auf der Strecke $DB = (Q + L)(\omega + s) l_1$

mithin, da $l_1 + l_{11} = l$ und $sl_1 = h$ ist, im Ganzen $= (Q + L)(\omega l + h)$. Es sind hiernach für die Bergfahrt die Betriebskosten auf der gebrochenen Steigungslinie $ACDB$ genau so gross wie auf der einheitlichen Steigung AB . Die gleichen Kosten würde man auch auf einer Steigungslinie erhalten, welche von A aus mit der maassgebenden Steigung um die Höhe h bis E ansteigt, dann von E auf die halbe Länge der Entfernung CB mit dem Steigungsverhältnisse ω bis F ansteigt und mit demselben Steigungsverhältnisse von F nach B wieder fällt. Auf allen Linienzügen innerhalb des Parallelsechsecks $AEFBDC$, welche in der Richtung von A nach B nirgends ein stärkeres Gefälle als ω und keine stärkere Steigung als s haben, sonst aber irgend welche Form haben können, sind die Betriebskosten auf der Bergfahrt die gleichen wie auf der einheitlichen Steigung.

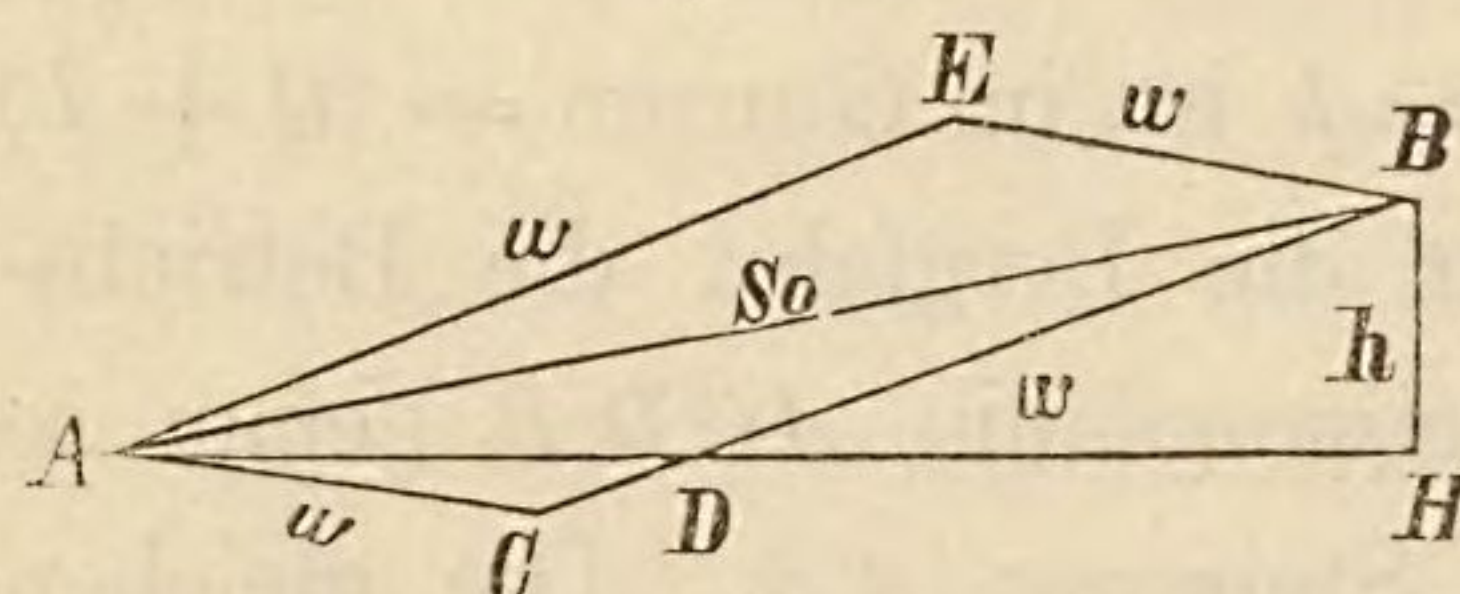
Für die Thalfahrt ist die Sachlage anders. Die Zugkraftsleistung der Lokomotive, welche zur Förderung eines Zuggewichtes Q abwärts in einheitlichem Gefälle von B nach A aufgewendet werden muß, ist $(Q + L)(\omega l - h)$.

Auf einem gebrochenen Linienzuge, welcher von der Linie $ACDB$ in Fig. 13 nur dadurch abweicht, daß die Strecke DB nicht nach der maassgebenden Steigung s sondern nach irgend einer schädlichen Steigung s_1 angeordnet ist, welche kleiner als s und grösser als ω ist, erfordert die Thalfahrt auf den Strecken BD und DC keine Zugkraft, sondern nur auf der

Strecke AC von der Länge $\frac{1}{2} (l - CH) = \frac{1}{2} (l - \frac{h}{s_1})$
 die Zugkraftsleistung:

$$(Q + L) \left(\frac{\omega + \omega}{2} \right) \left(l - \frac{h}{s_1} \right) = (Q + L) \left(\omega l - \frac{\omega h}{s_1} \right).$$

Fig. 14.



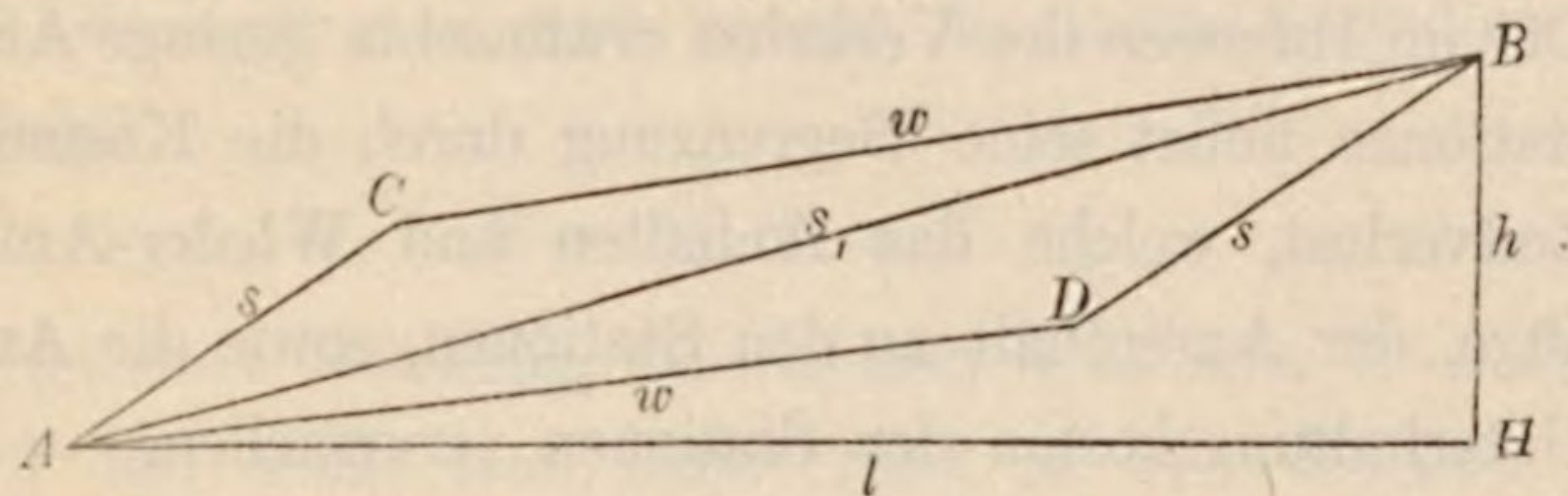
Diese ist nur dann nicht größer als auf der Thalfahrt in der Linie BA , wenn $s_1 = \omega$ ist, wie in Fig. 14 dargestellt ist. Dabei tritt also statt der gebrochenen Linie CDB der Fig. 13, in welcher CD die Steigung ω und DB die maßgebende Steigung s hat, die gerade Linie CDB der Fig. 14, welche die Steigung ω hat. Die gleichen Betriebskosten für die Thalfahrt von B nach A werden auf einer Linie AEB erforderlich, deren beide Schenkel von A und B aus bis zum Schnittpunkte E mit dem Steigungsverhältnisse ω ansteigen. Allgemein sind auf jeden, innerhalb des Parallelogramms $AEB C$ beliebig gezogenem Linienzuge, welcher nur an keiner Stelle kein stärkeres Steigungsverhältnis als ω , also überall unschädliche Steigungen hat, die Betriebskosten für die Thalfahrt nicht größer als auf der einheitlichen Steigung AB .

Mit Rücksicht auf die Thalfahrt schränkt sich das Parallelogramm, innerhalb dessen die Steigungslinie sich bewegen darf, ohne daß eine Vermehrung der Betriebskosten entsteht, also ohne daß eine verlorene Steigung entsteht, auf ein Parallelogramm ein, dessen Seiten nach dem Widerstandskoeffizienten ω geneigt sind.

Für den zweiten Fall, daß die einheitliche Steigung von A nach B größer als ω , also eine schädliche Steigung ist, gestalten sich die Verhältnisse anders. Bei der Bergfahrt ist die Zugkraftsleistung wieder in dem in Fig. 13 gezeichneten

Parallelsechseck, dessen Seiten beziehungsweise Steigungsverhältnisse gleich der maßgebenden Steigung und gleich den Widerstandskoeffizienten haben, für alle Linien, welche in der Richtung von A nach B kein stärkeres Gefälle als ω und keine stärkere Steigung als s haben, gleich $(Q + L)(wl + h)$ wie auf der einheitlichen Steigung von A nach B . Für die Thalfahrt ist dagegen auf der einheitlichen Steigung, auf welcher der Zug ohne Dampf und gebremst abwärts läuft, keine Zugkraft nöthig. Es sind demnach mit Rücksicht auf die Thalfahrt nur solche Linien gleichwerthig mit der einheitlichen Steigung, auf denen nirgends ein Dampfverbrauch stattfindet, welche also nur schädliche Steigungen haben. Alle diese Linien werden durch ein Parallelogramm $ACBD$ (Fig. 15)

Fig. 15.



eingeschlossen, dessen Seiten AC in DB nach der maßgebenden Steigung und dessen Seiten AD und CB nach dem Widerstandskoeffizienten ω geneigt sind. Alle Linien, welche innerhalb dieses Parallelogramms liegen, stets in derselben Richtung von A nach B mit Steigungsverhältnissen größer als ω , aber kleiner als s ansteigen, also durchweg schädliche Steigungen haben, sind im Betriebe nicht theurer als die einheitliche Steigung, haben also keine verlorene Steigung.

Die vorstehenden Untersuchungen lassen sich im folgenden Satz zusammenfassen:

Eine Trafse hat auf einer bestimmten Längen-Erstreckung keine verlorene Steigung, wenn in

derselben entweder ausnahmslos unschädliche Steigungen vorkommen, gleichgültig in welcher Richtung sie ansteigen oder wenn in derselben ausnahmslos schädliche Steigungen vorkommen, welche sämmtlich in derselben Richtung ansteigen. Ob der Verkehr in beiden Richtungen gleich groß ist oder in einer Richtung überwiegt, ist dabei gleichgültig. Nur in dem Falle, welcher im Eisenbahn-Betriebe praktisch nicht vorkommt, daß der Verkehr nur zu Berg stattfindet, würden die Grenzen, innerhalb deren die Trasse ohne verlorene Steigung angeordnet werden kann, sich noch mehr erweitern.

§ 28.

Die Entfernung der Stationen.

Der im Interesse des Verkehrs erwünschte geringe Abstand der Stationen findet seine Begrenzung durch die Kosten und den Zeitverlust, welche das Anhalten und Wieder-Anfahren der Züge, der Aufenthalt an den Stationen, sowie die Anlage- und Unterhaltungskosten der Stationen verursachen.

Zur Beurtheilung der Frage, ob die Anlage irgend einer bestimmten Station gerechtfertigt ist, muß man den Verkehrszuwachs kennen, welcher durch die Einrichtung der Station dem Bahnnetze zugeführt wird und die Vermehrung, welche der Betriebsüberschuss dadurch erfährt. Sodann müssen die Anlagekosten und die jährlichen persönlichen und sachlichen Unterhaltungskosten der Stationen und die Kosten für das Anhalten der Züge festgestellt werden. Die letztgenannten Ausgaben, deren Ermittlung zunächst vorgenommen werden soll, setzen sich zusammen aus den Kosten, welche das Bremsen der ankommenden Züge, das Anfahren der abgehenden Züge und der Aufenthalt der Züge an den Stationen erfordert, wobei der Zeit, während welcher der Zug stillsteht, auch der

Zeitverlust beim Einfahren und Ausfahren hinzugerechnet werden muß.

Die in einem mit der Geschwindigkeit v fahrenden Zuge enthaltene lebendige Kraft ist:

$$M = \frac{\beta}{2g} (Q + L) v^2.$$

Hierin bezeichnet β , wie schon im § 26 erwähnt wurde, einen Koeffizienten, welcher den Zuwachs darstellt, den die von der fortschreitenden Geschwindigkeit herrührende lebendige Kraft durch die in Umlauf befindlichen Massen der Räder und Achsen erfährt und dessen Grösse im Mittel zu 1,08 angenommen werden kann. Werden die Gewichte Q des Zuges und L der Lokomotive in Tonnen, die Geschwindigkeit v in Metern in der Sekunde angegeben und die Beschleunigung der Schwerkraft $g = 9,81$ gesetzt, so ist die lebendige Kraft des Zuges:

$$M = 55 (Q + L) v^2.$$

Für einen Güterzug, bei welchem $Q = 350$, $L = 60$ und $v = 7$ ist, erhält man daher rund $M = 1100\,000$ Meter Kilogramm; für einen Personenzug, bei welchem $Q = 118$, $L = 54$ und $v = 13$ ist, $M =$ rund $1\,600\,000$, und für einen Schnellzug, bei welchem $Q = 68$, $L = 54$ und $v = 18$ ist, $M =$ rund $2\,000\,000$ Meter Kilogramm.

Wird ein Zug, welcher mit einer Geschwindigkeit v auf einer Steigung s , aufwärts fährt, durch einen Widerstand u ($Q + L$) gebremst, so wird, wenn der Widerstandskoeffizient $w = a + b v^2$ gesetzt wird, auf eine Länge dl eine widerstehende Arbeit:

$$dW = (Q + L) (u + s + a + b v^2) dl$$

geleistet, wobei die lebendige Kraft um

$$dM = \frac{\beta}{g} (Q + L) v dv$$

abnimmt. Aus der Gleichsetzung von dW und dM entsteht:

$$dl = \frac{\beta v dv}{g(u + s_1 + a + bv^2)}$$

woraus man nach Integration zwischen den Grenzen v und 0 die Länge, auf welche der Zug zum Stillstehen kommt, erhält zu:

$$(Gl. 38) \quad l = \frac{\beta}{2gb} \lg. nt. \frac{u + s_1 + a + bv^2}{u + s_1 + a}.$$

Die Zeit, welche zum Anhalten erforderlich ist, findet man, da $\frac{dl}{v} = dt$ ist, aus der Gleichung:

$$dt = \frac{\beta dv}{g(u + s_1 + a + bv^2)}$$

durch Integration zwischen den Grenzen v und 0 zu:

$$(Gl. 39). \quad t = \frac{\beta}{g \sqrt{(u + s_1 + a)b}} \operatorname{arc. tg.} v \sqrt{\frac{b}{u + s_1 + a}}.$$

Wird nach § 7 (S. 34) $a = 0,00273$ und $b = 0,0000131$ gesetzt, so kommt nach den ermittelten Gleichungen 38 und 39 nach Absperrung des Dampfes und ohne Bremsen auf horizontaler Strecke ein Güterzug von 7 m Geschwindigkeit nach einer Zeit von 247 Sekunden und nach einer Fahrlänge von 886 m zum Stillstand, ein Personenzug von 13 m Geschwindigkeit nach einer Zeit von 399 Sekunden und Fahrlänge von 2492 m, ein Schnellzug von 18 m Geschwindigkeit nach einer Zeit von 489 Sekunden und Fahrlänge von 3939 m.

Der Güterzug hätte die Strecke von 886 m mit unveränderter Geschwindigkeit in 127 Sekunden zurückgelegt, so daß, wenn er ungebremst durch Absperrung des Dampfes zum Anhalten gebracht würde, ein Zeitverlust von $247 - 127 = 120$ Sekunden entstände. Bei dem Personenzuge würde dieser Zeitverlust unter gleichen Umständen 207 Sekunden und bei dem Schnellzuge 268 Sekunden betragen.

Bei Güterzügen im Flachlande kann der Bremskoeffizient u zu 0,08 geschätzt werden, wonach auf horizontaler Bahn der Zug auf eine Fahrlänge von 245 m in 72 Sekunden zum Stehen gebracht werden. Für Personen- und Schnellzüge, bei denen sämtliche Achsen mit Ausnahme der Lokomotiv-Achsen gebremst werden, kann der Bremskoeffizient u die Größe von 0,075 erreichen, so daß ein Personenzug von 13 m Geschwindigkeit auf 118 m Länge in 18 Sekunden und ein Schnellzug von 18 m Geschwindigkeit auf 223 m in 26 Sekunden zum Stehen gebracht werden kann.

Bis zu diesem Maße wird die Bremswirkung, welche durch Anwendung von Gegendampf sich noch weiter verstärken läßt, aber beim Einfahren in die Stationen der Regel nach nicht gesteigert. Die Fahrlänge, auf welche der Uebergang von der vollen Geschwindigkeit zum Stillstand bewirkt wird, kann im Durchschnitt für Güterzüge zu 400 m, für Personenzüge zu 500 m und für Schnellzüge zu 800 m angenommen werden.

Bei Berechnung der Fahrlänge und der Zeit, welche bei einem bestimmten Bremskoeffizienten zum Anhalten eines Zuges erforderlich ist, braucht man, wenn es sich um praktische Zwecke handelt, keineswegs auf die Abhängigkeit des Widerstandskoeffizienten von der Geschwindigkeit Rücksicht zu nehmen, sondern erhält durch Annahme eines unveränderlichen, der mittleren Geschwindigkeit entsprechenden Widerstandskoeffizienten einen vollständig genügenden Grad der Genauigkeit, in ähnlicher Weise wie bei den Berechnungen der Anlaufsteigung in § 26.

Ist der mittlere Werth des Widerstandskoeffizienten $= w$, so wird bei einem Bremskoeffizienten u auf einer Fahrlänge l eine widerstehende Arbeit

$$W = (Q + L) (u + w + s_1) l$$

verrichtet, durch welche die lebendige Kraft

$$M = (Q + L) \frac{\beta v^2}{2g}$$

vernichtet werden muß, so daß durch Gleichsetzung dieser Größen erhalten wird:

$$l = \frac{\beta v^2}{2g(u + w + s_1)}$$

oder nach Einsetzung von $\beta = 1,08$ und $g = 9,81$ zu:

$$(Gl. 40) \quad . \quad . \quad . \quad l = \frac{0,055 v^2}{u + w + s_1}.$$

Aus der Gleichsetzung der auf die Länge dl geleisteten widerstehenden Arbeit und des dadurch herbeigeführten Verlustes an lebendiger Kraft folgt

$$(u + w + s_1) dl = \frac{\beta v dv}{g}$$

oder da $v dt = dl$ ist:

$$dt = \frac{\beta dv}{g(u + w + s_1)}$$

und hieraus durch Integration zwischen den Grenzen v und 0 :

$$t = \frac{\beta v}{g(u + w + s_1)}$$

oder nach Vergleichung mit Gleichung 40:

$$(Gl. 41) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad t = \frac{2l}{v}.$$

Da bei unveränderter Geschwindigkeit die Länge l in der Zeit $\frac{l}{v}$ zurückgelegt sein würde, so ist also die Zeit, welche zum Anhalten des Zuges erforderlich ist, gleich dem Zeitverluste, den das Anhalten verursacht.

Die zum Ingangbringen des Zuges erforderliche Fahr-
länge und Zeit berechnet sich, wenn die Lokomotive mit
voller Zugkraft $= zL$ arbeitet, wie folgt.

Es muß, während die Wegelänge dl zurückgelegt wird, dem Zuge ein Zuwachs an lebendiger Kraft ertheilt werden, welcher einer Geschwindigkeitszunahme dv entspricht, so daß sein muß:

$$z L dl = (Q + L) (a + b v^2 + s_1) dl + \frac{\beta (Q + L)}{g} v dv$$

also

$$dl = \frac{\beta (Q + L)}{g} \cdot \frac{v dv}{z L - (Q + L) (a + b v^2 + s_1)}$$

woraus durch Integration zwischen den Grenzen v und 0 erhalten wird:

$$(Gl. 42) \quad l = \frac{\beta}{2 g b} \lg. nt. \frac{z L - (Q + L) (a + s_1)}{z L - (Q + L) (a + b v^2 + s_1)}.$$

Die Zeit, welche zum Durchfahren dieser Länge erforderlich ist, folgt aus:

$$dt = \beta \frac{(Q + L)}{g} \frac{dv}{z L - (Q + L) (a + b v^2 + s_1)}$$

durch Integration zwischen den Grenzen v und 0 zu:

$$(Gl. 43) \quad . \quad t = \frac{\beta (Q + L)}{2 g p q} \lg. nt. \frac{p + v q}{p - v q}$$

wenn zur Abkürzung $\sqrt{z L - (Q + L) (a + s_1)} = p$ und $\sqrt{b (Q + L)} = q$ gesetzt wurde.

Für einen Güterzug ist, wenn $Q = 350\,000$, $L = 60\,000$, $z = 0,06$, $g = 9,81$, $\beta = 1,08$, $a = 0,00273$, $b = 0,0000131$ und $s_1 = 0$ gesetzt wird, die zur Erreichung einer Geschwindigkeit von 7 m erforderliche Zeit gleich 132 Sekunden bei einer Fahrlänge von 472 m. Da diese Länge bei 7 m Geschwindigkeit in 67 Sek. durchfahren werden würde, so ist der Zeitverlust beim Anfahren $132 - 67 = 65$ Sek.

Für einen Personenzug, dessen Zuggewicht $Q = 118\,000$ kg, $L = 54\,000$ kg und $z = 0,04$ bei einer Triebachse ist, wird auf horizontaler Strecke die Geschwindigkeit von 13 m in einer Zeit von 157 Sek. und auf eine Länge von 1062 m erreicht und der Zeitverlust beim Anfahren beträgt 75 Sek.

Hätte die Personenzugslokomotive zwei gekoppelte Treibachsen, so daß der Zugkraftskoeffizient $z = 0,06$ zu rechnen wäre, so würde zur Erreichung einer Geschwindigkeit von 13 m nur eine Zeit von 86 Sek. auf 616 m Fahrlänge erforderlich sein.

Für einen Schnellzug, bei welchem $Q = 68000$, $L = 54000$ und $z = 0,04$ ist, würde eine Geschwindigkeit von 18 m in 132 Sek. auf 1244 m Fahrlänge erreicht.

Für praktische Zwecke kann man aber wieder die Abhängigkeit des Widerstandskoeffizienten von der Geschwindigkeit vernachlässigen und mit einem mittleren Widerstandskoeffizienten w für die ganze Dauer des Anfahrens rechnen. Man erhält dann aus der Gleichung:

$$z L dl = (Q + L) (w + s_1) dl + \beta \frac{(Q + L)}{g} v dv$$

die zur Erreichung der Geschwindigkeit v erforderliche Fahrlänge zu:

$$(Gl. 44.) \quad l = \frac{\beta}{2g} \cdot \frac{(Q + L) v^2}{zL - (Q + L)(w + s_1)}$$

und nachdem man $dl = v dt$ gesetzt hat, die aufzuwendende Zeit:

$$t = \frac{\beta}{g} \frac{(Q + L) v}{zL - (Q + L)(w + s_1)}$$

oder

$$(Gl. 45.) \quad t = \frac{2l}{v}.$$

Da die Länge l mit der Endgeschwindigkeit v in der Hälfte dieser Zeit durchfahren werden würde, so ist also auch der Zeitverlust beim Anfahren gleich der dafür erforderlichen Zeit.

Nach den entwickelten Rechnungen wird man im Durchschnitt den Zeitverlust, welcher durch das allmähliche Anhalten

und durch das Wiederauffahren eines Zuges im Vergleich zu der Zeit bei ununterbrochener Fahrt, zu 2 Minuten gerechnet werden können. Rechnet man den Aufenthalt an der Station für Personenzüge zu 1 Minute, für Güterzüge zu 5 Minuten, so ist also der ganze Zeitverlust, welchen das Anlaufen einer Station verursacht, für Personenzüge 3 Minuten und für Güterzüge 7 Minuten.

Zieht man von den in § 4 und 5 abgeleiteten Fahrdienstkosten und Lokomotivkosten B_0 die Ausgaben für Schmieren sowie für Unterhaltung und Erneuerung der Betriebsmittel ab, so bleiben die von der Zeitdauer abhängigen Betriebskosten. Diese findet man dann für den Güterzugskilometer zu 18,7 Pfg. Fahrdienstkosten und zu 23,6 Pfg. Zugförderungskosten, also im Ganzen zu 42,3 Pfg., und für den Personenzugskilometer zu 22,3 Pfg. Fahrdienstkosten und 18,8 Pfg. Zugförderungskosten, im Ganzen also zu 41,1 Pfg.

Die Kosten eines Güterzuges für die Dauer einer Minute sind bei Rechnung von 7 m Geschwindigkeit also

$$= \frac{42,3 \cdot 7 \cdot 60}{1000} = 17,8 \text{ Pfg. und für einen Personenzug, wenn}$$

man mit Rücksicht darauf, daß 16 Mill. Zugkilometer in Schnellzügen und 53 Mill. Zugkilometer in gewöhnlichen Personenzügen geleistet wurden und demnach die Geschwindigkeit im Mittel zu 14 m angenommen werden kann, zu

$$\frac{41,4 \cdot 14 \cdot 60}{1000} = 34,8 \text{ Pfg.}$$

Da die Kosten für die Leistung von einer Tonne Zugkraft auf einen Kilometer Länge oder von einer Million Meter-Kilogramm Arbeit der Lokomotive zu 25 Pfg. ermittelt wurden, so kostet das Auffahren eines Güterzuges, welcher eine lebendige Kraft von 1,100 000 Meter-Kilogramm besitzt, $= 1,1 \cdot 25 = 27,5$ Pfg. und das Auffahren eines Personenzuges, wenn im

Durchschnitt für Schnell- und Personenzüge eine lebendige Kraft von 1,700 000 Meter-Kilogramm angenommen wird, $1,7 \cdot 25 = 42,5$ Pfg.

Ein Theil der in dem Zuge aufgespeicherten lebendigen Kraft kommt allerdings beim Einlaufen in die Stationen, während der Absperrung des Dampfes, für die Fortbewegung zur Ausnutzung. Es mag aber diese Dampfersparung unberücksichtigt bleiben, indem zur Ausgleichung die Kosten des Bremsens durch Abnutzung der Bremseinrichtungen, der Radreifen und Schienen, ebenfalls unberücksichtigt bleiben.

Es stellen sich hiernach die Kosten für das Anhalten eines Güterzuges auf $27,5 + 7 \cdot 17,8 = 152,1$ Pfg. und eines Personenzuges auf $42,5 + 3 \cdot 34,8 = 146,9$ Pfg., so daß man allgemein die Kosten des Anhaltens eines Zuges an einer Station mit $1\frac{1}{2}$ Mark in Rechnung bringen kann.

Man könnte gegen die Ermittlung dieses Betrages den Einwand erheben, daß wegen der wenigen Minuten Zeitverlust, welche das Anlaufen einer Station verursacht, die Zugbeamten keine erhöhten Bezüge erhalten und die Betriebsmittel also auch die Zinsen des Anschaffungskapitals derselben keine Erhöhung erfahren, daß also für den Zeitverlust überhaupt keine Kosten in Anrechnung kommen können. Es tritt ja auch keine merkbare Kostenvermehrung ein, wenn eine Person mehr in einen Zug einsteigt; man hat aber nicht den einen Fall, sondern die Summe der Fälle, nicht das Differential, sondern das Integral in Betracht zu ziehen.

Nach Erledigung der vorstehenden Rechnungen läßt sich die Frage, ob die Anlage irgend einer bestimmten Station zweckmäfsig ist oder nicht, in folgender Weise entscheiden.

Betragen beispielsweise für den Bahnhof eines Ortes von 800 Einwohnern die Zinsen des Anlagekapitals und die jähr-

lichen Unterhaltungskosten der sämtlichen Bahnhofseinrichtungen 2000 Mk., die Besoldungen der Bahnbeamten jährlich 3000 Mk. und halten täglich drei Züge in jeder Richtung an dieser Station, so daß für das Anhalten der Züge $6 \cdot 365 \cdot 1\frac{1}{2} = 3285$ Mk. zu rechnen sind, dann betragen die Gesamtkosten der Station 8285 Mk.

Es muß nun erwogen werden, ob der Verkehrszuwachs, welchen die Einrichtung der Station dem gesamten Bahnnetz zuführt, eine solche Ausgabe rechtfertigt. Nach Heft I, § 17, S. 97 liefert im Durchschnitt bei mittlerer wirtschaftlicher Bedeutung der Gegend jede neu in den Eisenbahnverkehr gezogene Person für das gesamte Bahnnetz eine Erhöhung des Betriebsüberschusses von 17,6 Mk. Läßt man den Einfluß des Hinterlandes unberücksichtigt, da ja durch die Einrichtung der in Frage stehenden Station den benachbarten Stationen ein Theil ihres Hinterlandverkehrs entzogen wird, so liefert also die Einrichtung der Station eine Vermehrung des Betriebsüberschusses um $17,6 \cdot 800 = 13080$ Mk., also nach Abzug der Kosten der Bahnhofseinrichtung noch von $13080 - 8285 = 4795$ Mk.

Hätte der Ort nur 400 Einwohner und wollte man sich auf die Anlage einer Haltestelle für Personen beschränken, so würden die jährlichen sachlichen und persönlichen Ausgaben für die Haltestelle sich vielleicht auf 1000 Mk. beschränken, wozu die Kosten des Anhaltens von zwei Tageszügen in jeder Richtung mit $4 \cdot 365 \cdot 1\frac{1}{2} = 2190$ Mk. kommen und den ganzen Kostenbetrag auf 3190 Mk. erhöhen. Da im Durchschnitt auf jeden Kopf der Bevölkerung eine Reiselänge von 285 Kilometern im Jahre entfällt und der Betriebsüberschuß für den Personen-Kilometer zu 0,02 Mk. zu rechnen ist, so würde die Anlage der Haltestelle einen Zuwachs des Betriebsüberschusses von $400 \cdot 0,02 \cdot 285 = 2280$ Mk. liefern. Die

Anlage dieser Haltestelle würde sich also betriebstechnisch als unvorthailhaft erweisen.

Da aber der gemeinwirthschaftliche Nutzen der Eisenbahnen den Betriebsüberschuss erheblich, nach Heft I vielleicht um das $2\frac{1}{2}$ fache übertrifft, so wird man auf Staatsbahnen mit der Anlage von Stationen und Haltestellen zu weit geringern Abständen gehen können und müssen als auf Privatbahnen.

Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß für die zur Entscheidung über die Zweckmäßigkeit der Anlage von Zwischenstationen hier angestellten Rechnungen ein Anspruch auf volle Schärfe nicht erhoben werden kann.

§ 29.

Virtuelle Länge.

Zur Entscheidung einiger Fragen braucht man nicht die absolute Höhe der Betriebskosten zu kennen, sondern es genügt zu wissen, ob die Betriebskosten einer Linie höher oder niedriger als auf einer andern mit ihr in Vergleichung kommenden Linie sind oder welches Vielfache die Betriebskosten einer Linie von denen einer andern Linie sind. Es kommt dies z. B. vor, wenn es sich darum handelt, unter mehreren zwischen zwei Punkten vorhandenen Eisenbahnlinien, diejenige zu bestimmen, auf welcher der Betrieb sich am billigsten stellt, um hiernach die Zuweisung oder Instradirung des Verkehrs vorzunehmen. Auch dann, wenn man die Fracht nicht nach Verhältniß der zu durchfahrenden Länge, sondern nach Verhältniß der aufzuwendenden Betriebskosten feststellen will, braucht man nicht die absolute, sondern nur die relative Höhe der Betriebskosten zu kennen.

Für Zwecke solcher Art hat man den Begriff der virtuellen Länge eingeführt.

Es erscheint am nächsten liegend, zur Bestimmung der virtuellen Länge die Betriebskosten auf gerader horizontalen Bahn als Einheit zu wählen; für die in Betracht kommenden praktischen Zwecke ist es aber empfehlenswerther, wie Schübler vorgeschlagen hat, die Betriebskosten auf einer Flachlandbahn, deren maßgebende Steigung die Grenze der unschädlichen Steigung ist, als Einheit zu wählen. Sind die kilometrischen Betriebskosten für die Einheit auf einer solchen Flachlandbahn, k_1 ; die Betriebskosten auf einer Strecke von der Länge l , von der Steigung s_1 und bei einem Kurvenwiderstande c für eine maßgebende Steigung s nach § 10:

$$kl = \{ \alpha + \beta s + \gamma (s_1 + c) \} l$$

so findet man die virtuelle Länge λ dieser Strecke, das ist diejenige Länge einer Flachlandbahn, welche gleiche Betriebskosten wie die in Rechnung zu ziehende Bahnstrecke haben würde, aus der Gleichung:

$$\lambda k_1 = \{ \alpha + \beta s + \gamma (s_1 + c) \} l$$

zu

$$\lambda = \left\{ \frac{\alpha}{k_1} + \frac{\beta}{k_1} s + \frac{\gamma}{k_1} (s_1 + c) \right\} l$$

oder wenn man $\frac{\alpha}{k_1} = \alpha_1$, $\frac{\beta}{k_1} = \beta_1$ und $\frac{\gamma}{k_1} = \gamma_1$ zu:

$$\lambda = \{ \alpha_1 + \beta_1 s + \gamma_1 (s_1 + c) \} l.$$

Die virtuelle Länge einer Strecke ist also nicht allein von ihrer Steigung s_1 und dem auf ihr vorkommenden Kurvenwiderstande c sondern auch von der maßgebenden Steigung s der ganzen Bahnlinie abhängig. Den Klammerausdruck $\alpha_1 + \beta_1 s + \gamma_1 (s_1 + c) = \varphi$ bezeichnet man als virtuellen Koeffizienten.

Nach § 10 wurden die Betriebskosten für den Tonnen-Kilometer der Rohlast zu:

$$k = 0,24 + 10 s + 17 (s_1 + c)$$

gefunden und für eine Flachlandbahn, auf welcher $s = 0,0036$, $s_1 = 0,0036$ und $c = 0$ ist, zu $k_1 = 0,337$ Pfg. ermittelt. Hiernach ergibt sich die virtuelle Länge für den Güterverkehr zu:

$$(Gl. 46) \quad \lambda = 0,71 + 30 s + 50 (s_1 + c).$$

Die folgende Tabelle XVII giebt die virtuellen Längen, wie solche durch Theilung der in Tabelle IX angegebenen Betriebskosten durch $k_1 = 0,337$ erhalten werden, wobei eine fast genaue Uebereinstimmung mit der Formel 46 sich zeigt.

Tabelle XVII.

Virtuelle Längen für den Güterverkehr.

Maßgebende Steigung	Virtuelle Längen für unschädliche Steigung	schädliche Steigung $s_1 =$			
		0,006	0,010	0,015	0,025
0,0036	1,00	—	—	—	—
0,006	1,09	1,19	—	—	—
0,010	1,22	1,33	1,51	—	—
0,015	1,36	1,48	1,67	1,91	—
0,025	1,60	1,72	1,93	2,19	2,71

Für den Tonnen-Kilometer der Personenzüge sind die Betriebskosten auf einer Bahn, deren maßgebende Steigung $s = 0,0036$ ist, nach Gleichung 11, in welcher man für s_1 den Grenzwert der unschädlichen Steigung einsetzen muß:

$$k_1 = 0,725 + 8 \cdot 0,0036 + 22 \cdot 0,0055 = 0,875.$$

Theilt man die Zahlen der Tabelle X durch diese Größe, so erhält man die virtuellen Längen für den Personenverkehr nach Tabelle XVIII.

Tabelle XVIII.

Virtuelle Längen für den Personenverkehr.

Maßgebende Steigung	Virtuelle Längen für			
	unschädliche Steigung	schädliche Steigungen $s_1 =$		
		0,010	0,015	0,025
0,0036	1,00	—	—	—
0,006	1,02	—	—	—
0,010	1,08	1,18	—	—
0,015	1,12	1,23	1,35	—
0,025	1,18	1,29	1,42	1,67

Durch Theilung der Gleichung 11 mit den Betriebskosten $k_1 = 0,875$, wie sie der Tonnen-Kilometer der Personenzüge auf einer Flachlandbahn erfordert, erhält man die virtuellen Längen für den Personenverkehr zu:

$$(Gl. 47) \quad \lambda = 0,83 + 9s + 25(s_1 + c)$$

was eine vollständig befriedigende Uebereinstimmung mit den Zahlenwerthen der Tabelle XVIII zeigt.

Man erkennt aus den Tabellen XVII und XVIII, was schon in § 10 hervorgehoben wurde, daß die Steigungen auf die Betriebskosten beim Personenverkehr von weit geringerem Einflusse sind als beim Güterverkehr. Für den Güterverkehr ist auf Strecken mit unschädlicher Steigung der Betrieb einer Gebirgsbahn von 0,025 maßgebender Steigung, 1,6 mal so theuer als auf einer Flachlandbahn, für den Personenverkehr dagegen nur 1,18 mal so theuer. Auf einer Steigung von 0,025 sind die Betriebskosten für den Güterverkehr 2,71, dagegen für den Personenverkehr nur 1,67 mal so theuer als auf Flachlandbahnen.

Die Bestimmung der virtuellen Länge einer beliebigen Eisenbahn-Trasse wird sehr einfach, wenn man zunächst nach § 11 die gleichwerthige Steigung s_{11} der Bahn berechnet.

Ständen beispielsweise zwischen zwei Punkten zwei Eisenbahnlinien zur Wahl, von denen die Linie A bei einer Länge von 60 Km. eine maßgebende Steigung $s = 0,015$ und eine gleichwerthige Steigung $s_{11} = 0,010$, die Linie B dagegen bei einer Länge von 50 Km., eine maßgebende Steigung $s = 0,025$ und eine gleichwerthige Steigung $s_{11} = 0,015$ hätte, so würde für den Güterverkehr nach Tabelle XVII oder auch nach Gleichung 46 für die Linie A die virtuelle Länge $\lambda = 60 \cdot 1,67 = 100,2$ und für die Linie B gleich $50 \cdot 2,19 = 109,5$ sein. Für den Personenverkehr würde die virtuelle Länge nach Tabelle XVIII oder auch nach Gleichung 47 für die Linie A zu $\lambda = 60 \cdot 1,23 = 73,8$ und für die Linie B zu $\lambda = 50 \cdot 1,42 = 71,0$ gefunden werden. Die Linie A ist demnach für den Güterverkehr billiger als die Linie B , während umgekehrt die Linie B für den Personenverkehr billiger im Betriebe ist. In der That sind nach Tabelle IX für den Güterverkehr die Betriebskosten auf der Linie A für eine Tonne $= 60 \cdot 0,563 = 33,78$ Pfg. und auf der Linie $B = 50 \cdot 0,739 = 36,95$ Pfg. und nach Tabelle X für die Tonne der Personenzüge auf der Linie $A = 60 \cdot 1,076 = 64,56$ Pfg., dagegen auf der Linie $B = 50 \cdot 1,241 = 62,05$ Pfg.

Es wird durch dieses Beispiel die bemerkenswerthe Thatsache zur Anschauung gebracht, daß bei der Auswahl unter verschiedenen zwischen zwei Punkten zur Verfügung stehenden Linien die Entscheidung für den Güter- und Personenverkehr unter Umständen nicht für die gleiche Linie ausfallen kann. Allerdings sind beim Personenverkehr die Betriebskosten für die Wahl der Linie nicht allein entscheidend, da man oft wegen der grösseren Fahrgeschwindigkeit die Linie mit flacheren Steigungen trotz etwas grösserer Betriebskosten vorziehen wird.

Die vorstehenden Rechnungen zeigen übrigens, daß zur Entscheidung der Frage, welche von verschiedenen zwischen

zwei Orten zur Verfügung stehenden Eisenbahnverbindungen die geringsten Betriebskosten erfordert, die Benutzung der virtuellen Länge nicht im Mindesten einfacher ist als die unmittelbare Berechnung der Betriebskosten. Handelt es sich nicht um den Betrieb auf bereits vorhandenen Bahnen, sondern um die Auswahl zwischen verschiedenen für den Bau in Frage kommenden Linien, dann ist die Benutzung der virtuellen Länge sogar weitläufiger, weil man die absolute Höhe der Betriebskosten braucht, welche man erst wieder aus der berechneten virtuellen Länge ableiten müßte, also einfache unmittelbar bestimmt. Der Begriff der virtuellen Länge wäre vollständig überflüssig, wenn man denselben nur zur Vergleichung der Betriebskosten mehrerer zur Auswahl stehenden Linien benutzen wollte. Von Werth ist dagegen der Begriff der virtuellen Länge für eine zweckmäßige Bestimmung der Frachtsätze nach der Höhe der Betriebskosten. Im Hinblick auf diese Verwendung der virtuellen Länge zur Bestimmung der Frachtlänge oder Tariflänge sind aber Meinungsverschiedenheiten über die Feststellung des Begriffs derselben entstanden. Manche Ingenieure, unter diesen namentlich Schübler*), wollen bei der virtuellen Tariflänge auch die Anlage- und Unterhaltungskosten der Bahn berücksichtigen. Schübler macht den Vorschlag, den durchschnittlich für das gesamte Bahnnetz eines Landes auf den Tonnenkilometer entfallenden Betrag der Zinsen des Anlagekapitals und der Unterhaltungskosten der Bahn, welchen er für Deutschland auf 0,525 Pfg. ermittelt, zu den Betriebskosten der Strecke (Fahrdienst und Zugförderungskosten) zu addiren und nach den so für die Einheit ermittelten Kosten die virtuelle Tariflänge zu bestimmen, welche dann für die Erhebung der Fracht

*) Schübler, Ueber den Begriff der virtuellen Länge und die praktischen Anwendungen derselben. Centralblatt der Bauverwaltung 1884.

zu Grunde gelegt werden soll.*) Die Betriebskosten, einschließlich des Bahngeldes, würden für den Tonnen-Kilometer der Rohlast der Güterzüge, hiernach auf einer Flachlandbahn $0,337 + 0,525 = 0,862$ Pfg. und auf einer Bahn von 0,025 Steigung $0,914 + 0,525 = 1,439$ Pfg. betragen, so daß die virtuelle Tariflänge der letzteren $= \frac{1,439}{0,862} = 1,78$ sein würde.

Die folgende Rechnung wird aber zeigen, daß der günstigste kilometrische Frachtsatz, also auch die Tariflänge, welche zur Feststellung desselben dienen soll, durchaus unabhängig von der Höhe der Bahnkosten ist. Bezeichnet man mit d den kilometrischen Frachtsatz, mit k die kilometrischen Betriebskosten ausschließlich der Bahnkosten, wie solche also die Tabellen IX und X enthalten, mit $Ai + U$ die kilometrischen Unterhaltungskosten und Zinsen des Anlagekapitals der Bahn mit C die Verkehrsmenge, so ist der Betriebsüberschuß, nach Verzinsung des Anlagekapitals, noch:

$$N = C \left\{ d - k - \frac{Ai + U}{C} \right\}$$

oder

$$N = C (d - k) - (Ai + U).$$

Die Verkehrsmenge wird nach irgend einer Funktion $C = F(d)$ wachsen, wenn der Frachtsatz d abnimmt; setzt man $C = F(d)$ ein, so wird:

$$N = (d - k) F(d) - (Ai + U)$$

woraus man die Bedingung für den günstigsten Frachtsatz, bei welchem N am größten wird, erhält zu:

*) Auch ich habe früher in einer Abhandlung: „Virtuelle Länge, virtuelle Steigung und Tariflänge der Eisenbahnen, Organ f. d. Fortschritt des Eisenbahnwesens 1879“ die Berücksichtigung der Bahnkosten bei Feststellung der Tariflänge für erforderlich gehalten, mich aber später von der Irrthümlichkeit dieser Ansicht überzeugt.

(Gl. 48). . . $(d - k) F'(d) + F(d) = 0$.

Der günstigste Frachtsatz ist also lediglich von den reinen Betriebskosten k und von der Form der Funktion $F(d)$ abhängig, aber durchaus unabhängig von den Bahnkosten.

Nach den Untersuchungen im Heft I, § 13 ist der günstigste Frachtsatz ein bestimmtes Vielfaches der Betriebskosten, muß also im gleichen Verhältniß höher oder niedriger sein wie die Betriebskosten größer oder geringer sind.

Ganz abgesehen davon, daß man bei Ermittlung des günstigsten Frachtsatzes und der für Erhebung der Fracht zu Grunde zu legenden Tariflänge die von der Höhe der Fracht abhängige Verkehrsmenge und demnach den auf die Verkehrseinheit durchschnittlich entfallenden Betrag des Bahngeldes nicht konstant annehmen darf, wird auch durch die Tariflänge Schübler's nicht die Absicht erreicht, für den Tonnen-Kilometer auf jeder beliebigen Bahnstrecke den gleichen Betriebsüberschuß zu gewinnen. Es würde dies nur in dem besonderen Falle eintreten, wenn der Frachtsatz auf der Flachlandbahn genau zu 0,862 Pfg., also um den durchschnittlichen Betrag des Bahngeldes von 0,525 höher als die Betriebskosten angesetzt würde. Wäre aber beispielsweise der Frachtsatz auf der Flachlandbahn gleich 1 Pfg. nach Schübler's Tariflänge also für eine mit 0,025 ansteigende Strecke = 1,78 Pfg., so gewänne man auf der Flachlandbahn einen Betriebsüberschuß $1,000 - 0,337 = 0,663$ Pfg. und auf der Steigung von 0,025 einen solchen von $1,78 - 0,914 = 0,866$ Pfg.

Die von der Verkehrsmenge unabhängigen Zinsen des Anlagekapitals und Unterhaltungskosten der Bahn, welche unter allen Umständen als konstante Ausgabe zu leisten sind, können niemals von Einfluß auf die Bestimmung des günstigsten Frachtsatzes sein, durch welchen der höchste erreich-

bare Betriebsüberschuß gewonnen wird. Der Betriebsüberschuß entsteht aus dem Ueberschusse der für die Verkehrseinheit erhobenen Fracht über die durch die Verkehrseinheit verursachten Betriebskosten und bildet ein, der Verkehrsmenge entsprechendes Vielfaches dieses, an der Verkehrseinheit erreichten Ueberschusses. Da aber die Verkehrsmenge mit der Erhöhung des Frachtsatzes abnimmt, mit der Verminderung des Frachtsatzes zunimmt, so giebt es offenbar eine bestimmte günstigste Höhe des Frachtsatzes, welche von der Höhe der durch Beförderung der Verkehrseinheit erwachsenden Betriebskosten abhängt, aber vollständig unabhängig von der unabänderlich konstanten Höhe der Bahnkosten ist.

Wäre das günstigste Verhältniß des Frachtsatzes zur Höhe der Betriebskosten auf Grund der Gesetzmäßigkeit gefunden, nach welcher die Verkehrsmenge von der Höhe des Frachtsatzes abhängig ist, so sollte nach diesem Verhältnisse die Fracht nicht nur für die verschiedenen Verkehrsgattungen, sondern auch für die verschiedenen Verkehrsstrecken festgesetzt werden. Für die Höhe der Fracht ist also nicht die Länge der durchfahrenden Strecke, sondern die Höhe der auf einer gegebenen Strecke aufzuwendenden Betriebskosten maßgebend, soweit diese letzteren proportional mit der Zahl der beförderten Einheiten wachsen. Die Frachtlänge muß also gleich der virtuellen Länge sein, wie solche durch die Formeln 46 und 47 gegeben wird.

§ 30.

Virtuelle Steigung.

Ist die gleichwerthige Steigung s_{11} für eine Bahn berechnet, deren maßgebende Steigung s und deren Länge l ist, so berechnen sich die Betriebskosten zur Förderung einer Verkehrseinheit nach § 11 nach einer Gleichung von der Form:

$$K = (\alpha + \beta s + \gamma s_{II}) l.$$

Zur Kennzeichnung der Betriebswürdigkeit der Bahn kann man nun unter Festhaltung der unveränderten Länge der Bahn ein Steigungsverhältniß s_{III} ermitteln, welches die gleichen Betriebskosten verursachen würde, wenn es nicht allein einheitlich für die ganze Länge der Bahn bestände, sondern zugleich auch die maßgebende Steigung für dieselbe bildete. Für eine solche Bahn müßte dann sein:

$$K = (\alpha + \beta s_{III} + \gamma s_{III}) l.$$

Dieses Steigungsverhältniß s_{III} , welches als virtuelle Steigung der Bahn bezeichnet werden möge, erhält man aus der Gleichsetzung:

$$(\alpha + \beta s_{III} + \gamma s_{III}) l = (\alpha + \beta s + \gamma s_{II}) l$$

zu:

$$s_{III} = \frac{\beta}{\beta + \gamma} s + \frac{\gamma}{\beta + \gamma} s_{II}$$

Für den Güterverkehr wurde nach § 13, $\beta = 10$ und $\gamma = 17$ gefunden, so daß die virtuelle Steigung für den Güterverkehr zu:

$$(Gl. 49.) \quad s_{III} = 0,37 s + 0,63 s_{II}$$

erhalten wird.

Für den Personenverkehr ist nach § 13, $\beta = 8$ und $\gamma = 22$, so daß die virtuelle Steigung für den Personenverkehr ist:

$$(Gl. 50.) \quad s_{III} = 0,27 s + 0,73 s_{II}.$$

Unter Bénutzung der virtuellen Steigung erhält man die Betriebskosten für Beförderung einer Tonne Rohlast der Güterzüge über die ganze Länge der Bahn zu:

$$K = (0,24 + 27 s_{III}) l$$

oder zu:

$$(Gl. 51.) \quad . \quad . \quad K = 0,24 (1 + 112,5 s_{III}) l$$

und für die Tonne der Personenzüge zu:

$$K = (0,725 + 30 s_{III}) l$$

oder zu:

$$(Gl. 52.) \quad . \quad . \quad K = 0,725 (1 + 41,4 s_{III}) l$$

Ist beispielsweise die maßgebende Steigung einer Bahn gleich 0,015, die gleichwerthige Steigung derselben für den Güterverkehr = 0,00643, für den Personenverkehr = 0,00779, wie in dem Beispiel des § 11 berechnet wurde, so ist die virtuelle Steigung dieser Bahn für den Güterverkehr:

$$s_{III} = 0,37 \cdot 0,015 + 0,63 \cdot 0,00643 = 0,0096$$

und für den Personenverkehr:

$$s_{III} = 0,27 \cdot 0,015 + 0,73 \cdot 0,00779 = 0,0097.$$

Die gleichwerthige Steigung ist für den Personenverkehr stets größer als für den Güterverkehr, während die virtuelle Steigung für beide Verkehrsgattungen stets nur einen geringen Unterschied zeigt.

Theilt man die Gleichungen 51 und 52 durch die Kosten auf einer Flachlandbahn, also beziehungsweise durch 0,337 und 0,875, so erhält man die virtuelle Länge der Bahn in Abhängigkeit von der virtuellen Steigung, und zwar für den Güterverkehr zu:

$$(Gl. 53) \quad . \quad . \quad . \quad \lambda = 0,71 (1 + 112,5 s_{III}) l$$

und für den Personenverkehr zu:

$$(Gl. 54) \quad . \quad . \quad . \quad \lambda = 0,83 (1 + 41,4 s_{III}) l$$

Die virtuelle Länge wird also für den Güterverkehr gleich 2, wenn die virtuelle Steigung gleich 0,0115 ist, für

den Personenverkehr aber erst bei einer virtuellen Steigung gleich 0,0282.

Es bedarf übrigens wohl kaum der Erwähnung, daß die Berechnung der Betriebskosten wie auch der virtuellen Länge einfacher und kürzer ohne vorhergehende Ermittlung der virtuellen Steigung geschehen kann. Der Begriff der virtuellen Steigung hat für praktische Verwendung wenig Bedeutung. Die virtuelle Steigung ist lediglich von Werth als Maß für die Betriebswürdigkeit einer Bahn.

Abschnitt III.

Die Feststellung der Trasse.

§ 31.

Allgemeine und ausführliche Trassirung.

Man unterscheidet allgemeine und ausführliche Trassirung oder dementsprechend allgemeine und ausführliche Vorarbeiten.

Die allgemeine Trassirung soll zur Beurtheilung der Bauwürdigkeit der Bahn dienen, bei Privatunternehmungen auch die erforderlichen Vorlagen für die staatliche Genehmigung des Baues liefern, während durch die ausführliche Trassirung die Grundlage für die Bau-Ausführung in einer auf alle Einzelheiten sich erstreckenden Ausarbeitung des Entwurfs gewonnen werden soll.

Bei der allgemeinen Trassirung sind anzufertigen:

1. Eine Uebersichtskarte im Maßstabe von 1:200000 bis 1:50000, in welcher die Bahnlinie, in Kilometer getheilt und in Abständen von 5 Kilometern mit der Kilometerzahl versehen, eingezeichnet ist. In Preussen sollen hierfür die Generalstabskarten im Maßstabe von 1:100000 benutzt

werden und es soll die Bahnlinie mit zinnoberrother Farbe eingetragen werden.

2. Ein Längenschnitt, in welchem die Höhenlage des Bodens und der geplanten Bahnlinie mit Angabe der Steigungsverhältnisse, die Längen der Bahnhöfe und Tunnels, die Weiten der Brücken, Durchlässe und Wege-Uebergänge, die Sohlentiefen und Wasserstände der Gewässer, die Höhe des Grundwasserstandes, die Bodenbeschaffenheit und Benutzungsweise der Bodenoberfläche einzutragen und unter welchem die Krümmungsverhältnisse der Bahn durch das sogenannte Kurvenband darzustellen sind.

In Preußen ist als Maßstab für die Längen dieses Längenschnitts 1 : 10 000 vorgeschrieben, wie auch in andern Ländern meistens üblich ist, und für die Höhen ein Maßstab von 1 : 500, der sonst häufig zu 1 : 1000 gewählt wird. In Bezug auf alle weiteren Einzelheiten der Ausführungsweise und farbigen Behandlung des Längenschnitts gelten die bei der ausführlichen Trassirung angegebenen Vorschriften.

3. Ein Lageplan der Umgebung der Bahn, welcher in der Regel unter dem Längenschnitt dargestellt sein und sich mindestens auf 250 m Breite nach jeder Seite der Bahnlinie erstrecken soll. Nach den preussischen Vorschriften soll der Lageplan in einem Maßstabe von 1 : 10 000 gezeichnet sein und, falls die Bodengestaltung von Einfluß auf die Lage der Trasse ist, Schichtenkurven enthalten; welche in Höhenabständen von 5 oder 10 m liegen; auch muß die Nordlinie angegeben sein.

Für Bahnen im Hügellande oder Gebirge wird oft die Darstellung der Bodengestaltung in größerer Ausdehnung durch einen Lageplan mit Schichtenkurven auf einem besondern Blatte erforderlich.

4. Ein Erläuterungsbericht, welcher eine Beschreibung der Bahn mit Angabe der darin vorkommenden größeren Bauwerke und eine Begründung der gewählten Trasse sowie der Grundsätze, nach welchen ihre Gestaltung in allen Einzelheiten durchgeführt wurde, enthält. Eine Darlegung der wirtschaftlichen Bedeutung der Bahn wird entweder in diesem Erläuterungsberichte gegeben oder in einer besonderen Denkschrift angefügt.

5. Ein Kosten-Ueberschlag, welcher nach denselben Titeln gegliedert ist wie der Kostenanschlag bei der ausführlichen Trassirung.

Bei der ausführlichen Trassirung muß eine genaue Darstellung der Grundriss- und Höhenlage der Bahn vorgenommen werden und es sind die technischen Unterlagen für den Grunderwerb und für den Erdbau, die Entwürfe für den Oberbau, die Brücken, Durchlässe, Wege-Uebergänge, Futtermauern, Tunnels und für außergewöhnliche Anlagen, endlich für die Bahnhöfe und deren einzelne Anlagen anzufertigen.

In Preußen sind nach einer Verfügung vom Oktober 1871 für die ausführlichen Vorarbeiten die folgenden Bestimmungen erlassen:

1. Der Längenschnitt der Bahn soll die Längen nach einem Maßstabe von 1:2500, die Höhen in 1:250 darstellen. Die Bahn soll in Stationen von 100 m Länge eingetheilt werden, welche vom Anfangspunkte ab mit fortlaufenden Nummern, unmittelbar unterhalb der Horizontalen des Längenschnitts zu bezeichnen sind. Unter den Stationsnummern werden ebenfalls in fortlaufender Nummerfolge die Kilometer mit römischen Zahlen angegeben.

Die Stationsmitte sowie die Lage anderer, zwischen den Stationspunkten etwa noch erforderlichen Punkte ist durch das Einschreiben ihrer Entfernung von dem vorliegenden

Stationspunkte festzustellen, ebenso auch die Lage der Gefällwechsel, der Anfangs- und Endpunkte der Kurven, der Tunnels und der Bahnhöfe, die Lage der Brücken, Durchlässe, Wege-Uebergänge u. s. w.

Alle Höhen-Angaben sind auf den Nullpunkt des Amsterdamer Pegels (Normal-Null) zu beziehen. Wenn sich hierdurch für einzelne Blätter zu lange Ordinaten ergeben, so kann die Horizontale höher, jedoch immer nur um volle 10 m, gelegt werden, was unmittelbar oberhalb der Horizontalen anzugeben ist. Die Höhenzahlen bleiben aber, ohne Berücksichtigung einer solchen Verlegung der gezeichneten Horizontalen stets auf Normalnull bezogen.

Alle auf den vor der Bahnanlage vorhandenen Zustand sich beziehenden Höhenzahlen sind mit schwarzer Farbe einzuschreiben, also die Bodenhöhe an den Stationspunkten, in den Stationsmitten und anderer in Betracht kommenden Zwischenpunkte, die Kronkanten und Steinbahnhöhen der gekreuzten oder in der Nähe befindlichen Wege, sowie die Scheitel- und Kämpferhöhen der in diesen Wegen vorhandenen gewölbten Brücken, beziehungsweise die Konstruktions-Unterkanten eiserner oder hölzerner Brücken, die Sohlentiefen und Uferkanten der Gewässer, die Nullpunkte der in der Nähe befindlichen Pegel, die Höhenlage von Wehren und Fachbäumen, die Schwellenhöhen benachbarter Gebäude u. s. w.

Dagegen sind die Niedrig-, Mittel- und Hochwasserstände der Gewässer, der Grundwasserstand, sowie die auf die Seitengräben der Bahn bezüglichen Zahlen mit blauer Farbe und alle übrigen Zahlenangaben des Bahn-Entwurfs zinnoberroth einzutragen.

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung nach Bodenart und Schichtgrenzen, die Sohlentiefen von Mooren und Sümpfen, sowie die wirtschaftliche Benutzung der Bodenoberfläche, ob

Ackerland, Wiese, Wald, Garten u. s. w., endlich die politischen Grenzen der Gemeinden, Kreise u. s. w. sind im Längenschnitte anzugeben.

Die Steigungsverhältnisse der Bahn werden von Gefällwechsel zu Gefällwechsel oberhalb der Entwurfshöhenlinien, unter Angabe der Längen der einzelnen Strecken, eingeschrieben und die Anfangs- und Endpunkte der Kurven, ihre Halbmesser, ihre Länge und die Länge der zwischen liegenden Geraden werden unmittelbar unter der Horizontalen in dem sogenannten Kurvenbande angegeben.

Die Höhe des gewachsenen Bodens, also die Sohle der Einschnitte und Dämme wird mit braunem Farbenton, nach unten verwaschen, angelegt. Die Abtragsflächen des Längenschnitts erhalten einen grauen, die Auftragsflächen einen blaßrothen Farbenton. Die Auf- oder Abtragshöhen werden an allen Ordinaten mit zinnoberrothen Zahlen angegeben.

Die Brücken, Durchlässe, Wegeübergänge und Tunnels werden, entsprechend dem verschiedenen Längen- und Höhenmaßstabe, im Schnitte dargestellt, mit Angabe der Lichtweiten oder bezw. der Längen, wobei auch der Name des Flußlaufes oder Weges beigeschrieben wird.

Die Anfangs- und Endpunkte der Bahnhöfe werden durch Ordinaten, welche bis oberhalb der Bodenlinien verlängert und durch kleine Fähnchen bezeichnet werden, angegeben und der Name des Bahnhofes oder der Haltestellen zwischen diesen Ordinaten eingeschrieben.

Jedes einzelne Blatt des Längenschnitts, 46 cm breit und 64 cm hoch, muß eine Ueberschrift haben, welche den Namen der Bahn angiebt, und mit einer Unterschrift des Technikers versehen sein, welcher die Aufnahme gemacht hat, sowie mit einer Angabe über die Zeit der Aufnahme. Drei bis vier Blätter dürfen mittelst Leinwandrücken zusammengeklebt werden.

Zweckmäfsig werden in Abständen von etwa 1000 m feste Höhenpunkte gesetzt, welche ausserhalb der vom Bahnbau berührten Bodenfläche liegen.

2. Der Lageplan, mindestens eine Breite von 250 m nach jeder Seite der Bahn umfassend, soll nach den preussischen Vorschriften in einem Mafsstabe von 1 : 2500, in der Regel unter dem Längenschnitte auf demselben Blatte mit diesem, dargestellt werden. Die Bodengestaltung ist, soweit es zur Beurtheilung der gewählten Richtung und Höhenlage der Bahn erforderlich erscheint, durch Horizontalkurven in Höhen-Abständen von 5 bis 1 m anzugeben. Auf jedem Blatte mufs die Nordlinie eingezeichnet werden.

Die Mittellinie der Bahn, in Stationen und Kilometer getheilt, wird punktirt in zinnoberrother Farbe eingetragen und mit zinnoberrothen Stations- und Kilometerzahlen beschrieben. Der Bahnkörper ist mit den Seitengräben und Böschungen sowie mit allen seinen Neben-Anlagen als Wege-Übergänge und Verlegungen, Parallelwegen, Schutzstreifen, Brücken, Flußverlegungen u. s. w. vollständig einzutragen, wobei alles Bestehende schwarz, dagegen alle Theile des Entwurfs zinnoberroth zu zeichnen und zu beschreiben sind.

Am Anfange und Ende eines jeden Blattes sind im Lageplan und auch im Längenschnitt mindestens 100 m des vorhergehenden oder beziehungsweise des folgenden Blattes, jedoch nur in einfachen Linien, mit darzustellen.

3. Die Querschnitte der Bahn werden in der Breite und Höhe nach einem Mafsstabe von 1 : 250 gezeichnet. Unter der Horizontalen des Querschnitts wird der Punkt des Längenschnitts, an welchem der Querschnitt genommen ist und der Abstand aller aufgetragenen Punkte von der Mittellinie der Bahn angegeben. Im Übrigen gelten für die Querschnitte

alle Bestimmungen, welche für die Darstellung des Längenschnitts vorgeschrieben sind.

Die Querschnitte werden in der Regel in einem Hefte von Aktengröße eingezeichnet. Die Anzahl der Querschnitte richtet sich nach der Bodengestaltung; während im Flachlande zuweilen zwei bis drei auf einen Kilometer Länge genügen, sind im Hügellande und Gebirge oft 50 bis 100 erforderlich.

4. Die Zeichnungen der Futtermauern, Brücken, Tunnels und der Gebäude sind in der Regel nach einem Maßstabe von 1 : 100 anzufertigen. Es sind die zur vollständigen Beurtheilung der Entwürfe erforderlichen Grundrisse, Schnitte und Ansichten darzustellen und von außergewöhnlichen oder wichtigen Anordnungen Einzelzeichnungen in größerem Maßstabe zu geben.

Die Beschaffenheit des Baugrundes, die höchsten und die niedrigsten Wasserstände sind in den Entwürfen anzugeben, auch die Hauptabmessungen darin mit Zahlen einzuschreiben.

5. Die allgemeine Anordnung des Oberbaues, sowie auch die Anordnung der Wege-Uebergänge in Schienenhöhe, ist nach einem Maßstabe von 1 : 50 darzustellen. Die Querschnitte der Schienen und Laschen, die Unterlagsplatten, Laschenschrauben, Schienennägel u. s. w. sind in wahrer Größe zu zeichnen und auf den Zeichnungen die Gewichte einzuschreiben.

6. Von den Bahnhöfen und Haltestellen sind Lagepläne in einem Maßstabe von 1 : 1000 anzufertigen, auf denen nicht nur sämtliche Gebäude, sondern auch die nächsten Umgebungen und die zum Bahnhofe führenden Wege angegeben sind; auch sämtliche Bahngeleise mit allen Weichen und Kreuzungen, die Perrons, Drehscheiben, Schiebebühnen, Wasserkrähne, Laderampen, Lösch- und Reinigungsgruben,

Signale, Laternen, Kanäle, Rohrleitungen u. s. w., sowie die Krümmungs- und Neigungsverhältnisse der Bahnlinie und die Nordlinie sind einzuzeichnen.

Alle Zeichnungen sind in gleicher Gröfse wie die Blätter des Längenschnitts (46 cm auf 64 cm) anzufertigen und, wo es erforderlich ist, klappenartig aneinander zu heften. Für wiederholt vorkommende bauliche Anlagen wie Durchlässe, kleinere Brücken, Wege-, Ueber- und Unterführungen, manche Gebäude der Bahnhöfe, Weichen, Drehscheiben, Schiebebühnen u. s. w. werden zweckmäfsig Normal-Entwürfe bearbeitet.

7. Der Erläuterungsbericht soll eine Darlegung der gesamten Bodenverhältnisse und des zu erwartenden Verkehrs, sowie die Begründung der danach gewählten Richtung und Höhenlage der Bahn und der für dieselbe festgestellten Trassirungsverhältnisse enthalten. Bei der Beschreibung der Bahnlinie und ihrer Bauwerke ist die gewählte Anordnung der Bauwerke zu erläutern und zu begründen, auch eine Angabe über die Zeit, in welcher der gesamte Bahnbau und seine einzelnen Theile herzustellen sind, hinzuzufügen.

8. Der Kostenanschlag, welcher in Preussen nach den folgenden Titeln geordnet sein soll:

- I. Grunderwerb und Nutzungs-Entschädigungen.
- II. Erd- und Böschungsarbeiten, Futtermauern, einschliesslich derjenigen zu den Wege-Uebergängen.
- III. Unterhaltung des Unterbaus, sowie Instandhaltung des Oberbaus während der Bauzeit und während des ersten Betriebsjahres.
- IV. Einfriedigungen.
- V. Wege-Uebergänge, einschliesslich der Unter- und Ueberführungen von Wegen nebst allem Zubehör.
- VI. Durchlässe und kleinere Brücken, bis zu 10 m lichter Weite.

- VII. Größere Brücken.
- VIII. Tunnels.
- IX. Besondere Vorrichtungen und Gebäude zum Betriebe geneigter Ebenen.
- X. Oberbau, nebst allen Nebensträngen und Weichen.
- XI. Signale, nebst dazu gehörigen Buden und Wärterwohnungen.
- XII. Bahnhöfe und Haltestellen, nebst allem Zubehör an Gebäuden, Drehscheiben, Wasserkrahnen u. s. w.
- XIII. Sonstige und außerordentliche Anlagen, als Flußverlegungen, Durchführung durch Festungswerke u. s. w.
- XIV. Betriebsmittel.
- XV. Verwaltungskosten.
- XVI. Insgemein.
- XVII. Zinsen während der Bauzeit.

§ 32.

Trafsirung im Flachlande.

Auf Flachlandbahnen sind die Steigungen so gering, daß bei der Thalfahrt nirgends ein Bremsen erforderlich wird, und die Krümmungshalbmesser so groß, daß die Kurven keine bemerkenswerthe Erhöhung des Zugwiderstandes verursachen. Die Steigungen überschreiten also nirgends das Maß des Widerstandskoeffizienten $\omega = 0,0036$ und die Krümmungshalbmesser sind stets größer als 1000 m.

In den Gleichungen 10 und 11 des § 13, welche die Betriebskosten für den Nutztonnen-Kilometer und für den Personen-Kilometer angeben, muß für Flachlandbahnen daher der Kurvenwiderstand $c = 0$ und $s_1 = \omega$, mithin für den Güterverkehr $s_1 = 0,0036$ und für den Personen-Verkehr $s_1 = 0,0055$ eingesetzt werden, so daß die Betriebskosten für eine

Linie von l Kilometer Länge, auf welcher jährlich T Tonnen Nutzlast und P Personen befördert werden, sind:

Gl. 55.) $K = T (0,703 + 23\frac{1}{3} s) l + P (1,134 + 10\frac{2}{3} s) l$
in Pfennigen. Die Betriebskosten sind also außer von der Verkehrsmenge und von der Gesamtlänge der Bahn nur noch von der Größe s der maßgebenden Steigung abhängig.

Die erste Aufgabe der technischen Trassirung besteht darin, für den durch die kommerzielle Trassirung gefundenen Linienzug eine vorläufige Feststellung der Höhenlage und der Steigungsverhältnisse vorzunehmen. Dabei ist nach den in § 22 entwickelten Grundsätzen zu verfahren. Man muß, den geringsten Abstand der Gefällwechsel um so größer annehmen je bedeutender die Fahrgeschwindigkeit sein soll, und wird unter möglichster Anschmiegung an die Bodengestaltung und unter thunlichster Ausgleichung der Auf- und Abträge die Höhe des Grundwassers berücksichtigen müssen. Für die Höhenlage der Bahnhöfe, der Wege- und Fluß-Uebergänge wird man das zweckmäßigste Maß zu erreichen suchen, dabei für die Bahnhöfe eine horizontale Strecke von der erforderlichen Länge anordnen, im Uebrigen aber die Steigungsverhältnisse beliebig zwischen den Grenzen 0 und 0,0036 wählen können. Zugleich mit dieser ersten Bearbeitung des Längenschnitts der Trasse wird im Grundriße eine Ausrundung der Knickpunkte der kommerziellen Trasse nach Krümmungshalbmessern von mindestens 1000 m vorgenommen, wobei für die Bahnhöfe eine genügend lange gerade Strecke festgelegt wird.

Auf diese erste Bearbeitung des Entwurfs erfolgt als zweiter Schritt in der Trassirung die Ermittlung der vortheilhaftesten Größe der maßgebenden Steigung. Setzt man in Gl. 55 für T , P und l die betreffende Zahlenwerthe ein, so erhält man für die Betriebskosten eine Gleichung von der einfachen Form $K = D + Es$. Sei beispielsweise $T = 400\,000$, $P =$

250 000 und $l = 120$, so sind die Betriebskosten in Mark:

$$K = 677\,640 + 14\,400\,000 \text{ s.}$$

Wäre nun nach der ersten Festlegung der Steigungsverhältnisse die größte vorkommende Steigung auf eine Gesamtlänge von 4 Km. gleich 0,0036, so würde man durch Verflachung dieser Strecken auf ein Steigungsverhältniß von 0,0030 an Betriebskosten $14\,400\,000 \cdot 0,0006 = 8\,640$ Mk. ersparen. Die Durchführung dieser Verringerung der maßgebenden Steigung würde vortheilhaft sein, wenn die Zinsen der dabei entstehenden Vergrößerung des Anlagekapitals unter diesem Betrage blieben, also bei Anrechnung von 4 Proz., wenn das Anlagekapital um weniger als 216 000 Mk. dadurch vergrößert würde.

Hätte sich hiernach diese Verflachung als zweckmälsig erwiesen, so würde man ferner prüfen müssen, ob eine weitere Verflachung, die nun vielleicht in einer Gesamtlänge von 7 Km. vorhandene größte Steigung von 0,0030, sei es auf 0,0027, sich empfehlen würde. Die Vermehrung der Anlagekosten der Bahn dürfte keinen höheren Zinsbetrag als die entstehende Verminderung der Betriebskosten von $14\,400\,000 \cdot 0,0003 = 4\,320$ Mk. betragen, wenn diese Verflachung vortheilhaft sein sollte. Durch solche Versuchsrechnungen wird man bald den günstigsten Werth für die maßgebende Steigung finden können.

Es muß aber hervorgehoben werden, daß der vorstehend erörterte Rechnungsgang zur Ermittlung der günstigsten maßgebenden Steigung für Bahnen mit geringem Verkehr nicht zutreffend ist. Man muß beachten, daß die Verflachung der maßgebenden Steigung die Betriebskosten nur deshalb verringert, weil dadurch die Beförderung schwerer Züge möglich wird. Wenn aber das Bedürfniß der Beförderung schwererer Züge überhaupt nicht vorliegt, wie bei Bahnen mit geringem

Verkehr, so tritt mit der Verringerung der maßgebenden Steigung auch keine Ermäßigung der Betriebskosten ein.

Wäre z. B. für eine Lokalbahn der Güterverkehr jährlich 90 000 Tonnen Nutzlast = 210 000 Tonnen Rohlast, der Personenverkehr gleich 120 000 Personen oder gleich 150 000 Tonnen Zuglast, also der Jahresverkehr 360 000 Tonnen Zuggewicht, so würden täglich 990 Tonnen zu befördern sein, mithin bei 3 Zügen täglich in jeder Richtung eine Zugbelastung von 165 Tonnen entstehen. Würden Lokomotiven von 30 Tonnen Gewicht und einem Zugkraftskoeffizienten von 0,08, also mit einer Zugkraft von 2,4 Tonnen verwendet, so würde die Steigung s , auf welcher ein Zug von dem berechneten Gewichte noch aufwärts geschafft werden kann, aus der Gleichung:

$$(165 + 30) (0,0036 + s) = 2,4$$

zu $s = 0,0087$ erhalten.

Wenn eine Verminderung der Zugzahl, durch welche eine Vergrößerung des Zuggewichts eintreten kann, nicht erwünscht ist, so kann auf einer Flachlandbahn auch keine Verminderung der Betriebskosten entstehen, wenn die maßgebende Steigung kleiner als 0,0036 angeordnet wird. Es wird sogar meistens in solchem Falle in Frage kommen, ob man nicht eine Ersparung an Baukosten erreichen kann, wenn man den Charakter der Flachlandbahn aufgibt und eine maßgebende Steigung anordnet, welche größer als 0,0036 ist. Dies würde nach den Rechnungen des § 33 zu entscheiden sein.

Ist die maßgebende Steigung unter Festhaltung des Charakters einer Flachlandbahn, also kleiner oder gleich 0,0036 bestimmt, so kann zu dem dritten Schritte in der Durchführung der technischen Trassirung übergegangen werden, durch welchen untersucht wird, ob nicht aus irgend einem Grunde für einzelne Theile der Trasse eine Grundrifs-

Veränderung vorzunehmen ist. Bei allen diesen Erwägungen muß festgehalten werden, daß die Betriebskosten einer Flachlandbahn, nachdem die maßgebende Steigung festgestellt ist, allein von der Länge der Linie abhängig sind. Nach Gl. 55 sind die kilometrischen Betriebskosten einer Flachlandbahn, deren maßgebende Steigung beispielsweise $s = 0,0030$ ist und auf welcher ein Verkehr von 400 000 Tonnen Nutzlast und 250 000 Personen stattfindet, rund 6000 Mark. Sind die kilometrischen Kosten für Bahn-Unterhaltung und Bewachung jährlich 3000 Mark, so sind die Betriebs- und Unterhaltungskosten für den lfd. Meter 9 Mark, was bei 4 Prozent Zinsen einem Kapitale von 225 Mark entspricht. Eine Grundriffs-Aenderung der Trasse ist demnach vortheilhaft, wenn bei einer Verlängerung der Linie um x Meter eine Verminderung der Anlagekosten um mehr als $225 x$ Mark eintritt, oder wenn bei einer Abkürzung der Linie um x Meter der Mehraufwand an Anlagekosten unter $225 x$ Mark bleibt. Ueber alle in Frage kommenden Aenderungen der Trasse ist hiernach in sehr einfacher Weise zu entscheiden.

Aenderungen der Trasse können veranlaßt werden durch Rücksichten auf den Grunderwerb, auf die Bodenbeschaffenheit, auf die Wege-Uebergänge und auf die Wasserläufe.

Unter Berücksichtigung der Grunderwerbskosten wird man möglichst die mit Gebäuden besetzten oder sonst sehr werthvollen Grundstücke zu umgehen, auch Durchschneidungen von Ländereien zu vermeiden suchen; Kirchen und Friedhöfe müssen unberührt bleiben.

Die Bodengestaltung wird bei Flachlandbahnen nur ausnahmsweise eine Verlegung der Trasse veranlassen, wohl aber die Bodenbeschaffenheit, indem man Moore und Sümpfe

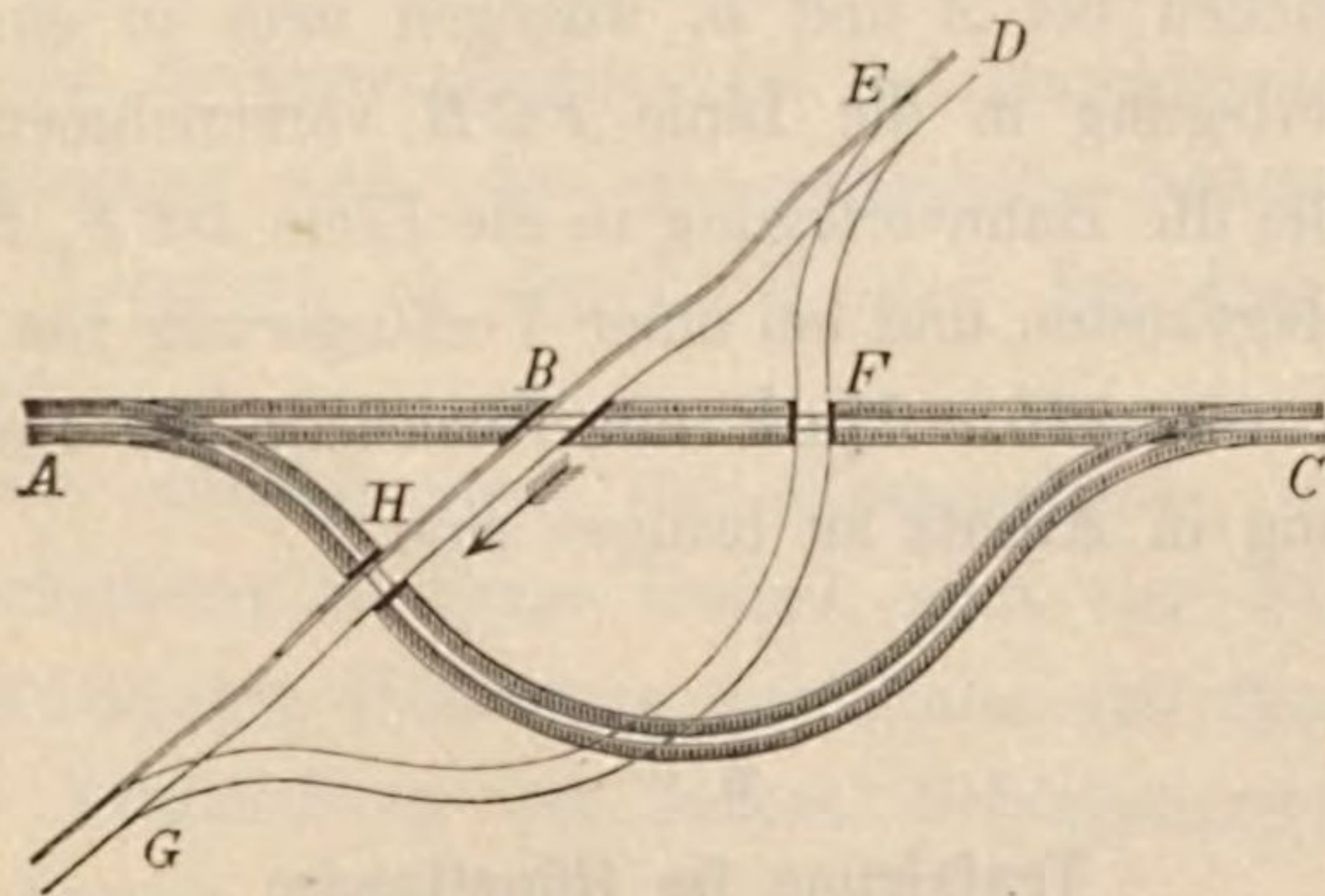
oder zur Dammschüttung ungeeignete Bodenarten zu vermeiden sucht.

Mit Rücksicht auf die Wege-Uebergänge wird nur selten, und auch wohl nur bei Lokalbahnen, eine Grundriß-Aenderung der Trasse in Frage kommen, da man eine zu spitzwinklige Kreuzung in der Regel billiger durch eine Verlegung des Weges als durch eine Aenderung der Eisenbahntrasse vermeidet.

Am häufigsten werden durch die Wasserverhältnisse Aenderungen in der ursprünglich festgelegten Trasse veranlaßt werden. Zunächst wird man die Bahn möglichst außerhalb des Ueberschwemmungsgebietes zu halten suchen und Durchschneidung von Seen vermeiden. Für die Ueberbrückung der Flüsse wird man eine Stelle mit geregelter Flußlaufe und gutem Baugrunde, sowie eine rechtwinklige Ueberschreitung zu erreichen suchen.

Zur Vermeidung einer schiefwinkligen Ueberbrückung kann eine Verlegung des Flußlaufes oder eine Aenderung der Bahntrasse in Frage kommen.

Fig. 16.

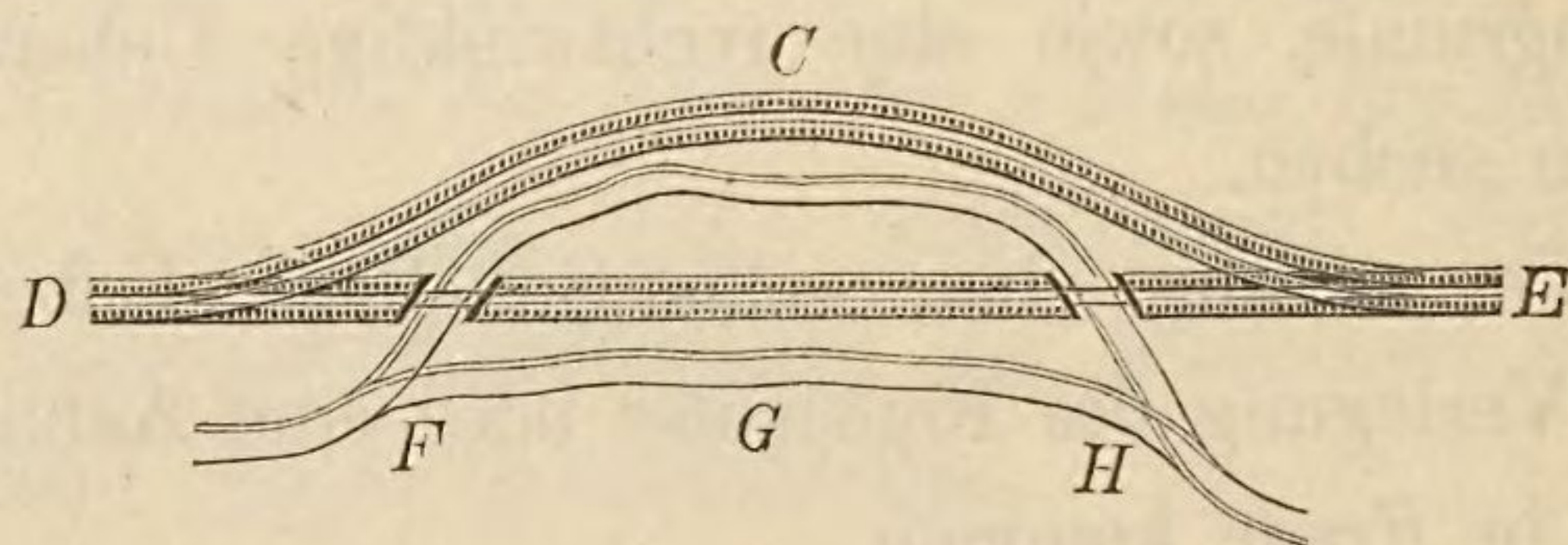


Soll die Verlegung des Flußlaufes aus der Strecke *EBG* (Fig. 16) in die Linie *EFG* empfehlenswerth sein, so muß die

Ersparung an der bei F auszuführenden rechtwinkligen Brücke im Vergleich zu der bei B erforderlichen schiefen Brücke die Kosten der Flußverlegung übertreffen. Die Verlegung der Bahn aus der Richtung ABC in die Linie AHC ist aber nur gerechtfertigt, wenn die Minderkosten der rechtwinkligen Brücke bei H gegenüber der schiefwinkligen Brücke bei B größer sind als die Mehrkosten des Baues der Linie AHC gegenüber ABC und dem Mehrbetrage $225 x$ Mark an Betriebs- und Unterhaltungskosten der um x Meter verlängerten Bahntrasse.

Zur Vermeidung wiederholter Flußübergänge kann ebenfalls eine Verlegung des Flusses oder der Trasse (nach Fig. 17) in Frage kommen.

Fig. 17.



In beiden Fällen spart man die Herstellungskosten der beiden Brücken bei A und B , wogegen man in einem Falle die Flußverlegung in die Linie FGH vorzunehmen hat, im andern Falle die Bahnverlegung in die Linie DCE , für welche erhöhte Anlagekosten und bei einer Verlängerung von x Metern ein Betrag von $225 x$ Mark mit Rücksicht auf Betrieb und Unterhaltung in Ansatz zu bringen sind.

§ 33.

Trafsirung im Hügellande.

Die Trasse im Hügellande hat in einzelnen Strecken Steigungen, welche die Grenze der unschädlichen Steigungen

überschreiten. Auf die Grundrisslage der Trafse ist die Bodengestaltung, welche in der Regel zu erheblichen Abweichungen von der kommerziellen Trafse und daher zu Umwegen zwingt, von entscheidendem Einflusse.

Am einfachsten ist der Fall, wenn beide Endpunkte der Trafse in ein und demselben Thalzuge liegen, so daß die Linie im Allgemeinen der Richtung des Thalweges folgen kann. Liegen die zu verbindenden Punkte aber in verschiedenen Thälern, von denen das eine nicht in das andere einmündet, so ist die Trafse über Wasserscheiden zu führen. Es ist dann zunächst der zweckmäßigste Ueberschreitungspunkt der Wasserscheide in Grundriss- und Höhenlage zu bestimmen, wonach dann durch diese Wasserscheiden die gesammte Länge der Trafse in Theilstrecken zerlegt ist, welche Punkte innerhalb eines und desselben Thalzuges zu verbinden haben.

Für die Ueberschreitung der Wasserscheiden sind in der Regel die tiefsten Einsenkungen, die Sattel oder Pässe, in den Wasserscheidelinien zu wählen, unter denen oft zwischen mehreren benachbarten eine Entscheidung zu treffen ist. Nur in Ausnahmefällen kann die Ueberschreitung einer Wasserscheide an einem höheren Punkte den Vorzug verdienen, wenn etwa dort die Bodenverhältnisse für die Durchbrechung entschieden günstiger sind oder eine erhebliche Abkürzung der Trafse im Vergleich zu der Linie über den Paß erreicht werden kann.

Für jede einzelne Stelle der Wasserscheide, welche für die Ueberschreitung in Frage kommt, muß eine Feststellung der zweckmäßigsten Höhenlage der Trafse getroffen werden, bevor eine Vergleichung mit andern Uebergangsstellen vorgenommen werden kann.

Die technische Trafsirung im Hügellande beginnt, falls eine oder mehrere Wasserscheiden zu überschreiten sind, mit

der Feststellung der zweckmässigsten Durchbrechungshöhe dieser Wasserscheiden. Man zieht dabei zunächst diejenige Wasserscheide in Betracht, in deren Zugangslinien voraussichtlich das steilste, für die ganze Bahnlinie zur maßgebenden Steigung werdende Steigungsverhältniß vorkommt.

Wird die maßgebende Steigung s in einer Länge l_1 bis zur Wasserscheide durchgeführt, so sind die Betriebskosten auf derselben für eine Tonne Nutzlast nach Gl. 10, S. 59:

$$k_1 = (0,56 + 23^{1/3} s + 39^{2/3} s) l_1.$$

Hat die auf der andern Seite von der Scheitelhöhe abwärts führende Strecke bei einer Gesamtlänge l_{II} eine gleichwerthige Steigung s_1 , so sind auf dieser die Betriebskosten für eine Tonne Nutzlast:

$$k_{II} = (0,56 + 23^{1/3} s + 39^{2/3} s_1) l_{II}.$$

Ist endlich die Länge der übrigen Erstreckung der Trasse l_{III} und die gleichwerthige Steigung derselben s_{II} , so sind die Betriebskosten auf dieser für eine Tonne Nutzlast:

$$k_{III} = (0,56 + 23^{1/3} s + 39^{2/3} s_{II}) l_{III}.$$

Die Betriebskosten für die ganze Länge der Bahnlinie $k = k_1 + k_{II} + k_{III}$ sind demnach, wenn die ganze Länge $l_1 + l_{II} + l_{III} = l$ gesetzt wird:

$$k = (0,56 + 23^{1/3} s) l + 39^{2/3} (l_1 s + l_{II} s_1 + l_{III} s_{II})$$

Setzt man ferner die von beiden Seiten zur Wasserscheide zu ersteigenden Höhen $s l_1 = h_1$ und $s_1 l_{II} = h_{II}$, so folgt:

$$k = \left(0,56 + 23^{1/3} \frac{h_1}{l_1}\right) l + 39^{2/3} (h_1 + h_{II} + l_{III} s_{II})$$

Wird die Durchbrechungshöhe der Wasserscheide um x Kilometer erniedrigt, h_1 wie h_{II} , also um x kleiner, so werden an den Betriebskosten für eine Tonne gespart:

$$e = (23^{1/3} \frac{l}{l_1} + 79^{1/3}) x.$$

Nach gleichem Rechnungsgange findet man für die Ersparung an den Betriebskosten zur Fortschaffung einer Person über die ganze Länge der Bahn:

$$e_1 = (10^{2/3} \frac{l}{l_1} + 58^{2/3}) x$$

Hat die Bahn einen Jahresverkehr von T Tonnen Nutzlast und P Personen, so ist die Ersparung bei Senkung der Wasserscheidendurchbrechung um x Meter in Mark:

$$(Gl. 56.) E = \left\{ T(70 \frac{l}{l_1} + 238) + P(32 \frac{l}{l_1} + 176) \right\} \frac{x}{300\,000}$$

also beispielsweise für $T = 400\,000$, $P = 250\,000$, $l = 120$ und $l_1 = 8$:

$$E = 2264 x \text{ Mark.}$$

Die Scheitelhöhe der Trafse an der Wasserscheide muß daher so tief gelegt werden, bis eine weitere Tieferlegung derselben um einen Meter die Zinsen des Baukapitals um 2264 Mk. vergrößern würde. Kostete der laufende Meter des Scheiteltunnels 3000 Mk., also jährlich 120 Mk. Zinsen, so müßte die Tunnelsohle so tief gesenkt werden, daß eine um einen Meter tiefere Lage nur durch eine Verlängerung des Tunnels um $\frac{2264}{120} = 18,9$ m erreichbar wäre.

Bei Herleitung der durch Gl. 56 angegebenen Ersparung an Betriebskosten, welche in Folge einer Tieferlegung der Scheitelhöhe der Trafse um x Meter eintritt, wurde angenommen, daß die maßgebende Steigung sich in entsprechender Weise mit der Verringerung der zu ersteigenden Höhe werde verkleinern lassen. Bleibt die maßgebende Steigung aber bei Verringerung der Scheitelhöhe der Trafse unverändert, so ist die bei einer Senkung des Scheitels um x Meter eintretende Ersparung nur:

$$(Gl. 57.) \quad E = (238 T + 176 P) \frac{x}{300\,000}$$

mithin für $T = 400\,000$, $P = 250\,000$ nur $E = 464$ x Mark, so daß bei den angenommenen Kosten des Scheiteltunnels eine Höhenlage festgehalten werden müßte, bei welcher eine weitere Senkung um einen Meter eine Verlängerung des Tunnels um mehr als $\frac{464}{120} = 3,9$ m verursachen würde.

Stehen mehrere Stellen für die Ueberschreitung der Wasserscheide zur Auswahl, so kann zuweilen die Entscheidung schon auf Grund der vorstehenden Rechnungen getroffen werden, während in anderen Fällen die Trassierungsarbeiten noch für die verschiedenen, in Vergleichung kommenden Linien weiter geführt werden müssen.

Durch die Festlegung der Scheitelhöhe an der Wasserscheide wird die ganze Länge der Linie in Theilstrecken zerlegt, deren jede einzelne in ihrer ganzen Erstreckung in ein und demselben Thalzuge liegt.

Ueberschreitet die Linie ein Thal, indem sie von einer Wasserscheide zur Thalsohle niedersteigt und von dieser zur nächsten Wasserscheide wieder ansteigt, so muß die zweckmäßigste Höhenlage des tiefsten Punktes im Thalwege nach dem gleichen Rechnungsgange wie bei Ermittlung der günstigsten Durchbrechungshöhe der Wasserscheiden festgestellt werden. Man wird dabei selbstverständlich nicht unter das Maß hinabgehen können, welches zur Ueberbrückung des Flusses erforderlich ist.

Sind in solcher Weise die oberen und unteren Beugungspunkte der Trasse im Grundriß und Höhenlage festgelegt, so hat man Theilstrecken, deren jede von einem unteren Anfangspunkte zu einem oberen Endpunkte innerhalb ein- und desselben Thalzuges ansteigt. In vielen Fällen, in denen die Linie im Allgemeinen der Längenrichtung des Thales folgt, hat man für die Führung der Trasse freie Wahl zwischen

den beiden Uferseiten. Am günstigsten ist diejenige Thal-
seite, welche die billigsten Grunderwerbskosten bietet, die beste,
gegen Rutschungen gesicherte Bodenbeschaffenheit besitzt, das
schwächste Quergefälle hat, der Sonne zugekehrt ist und an
welcher die wenigsten und unbedeutendsten Seitenthäler in
das Hauptthal einmünden. Alle diese Forderungen sind selten
zu gleicher Zeit erfüllt und es bedarf daher oft die Entschei-
dung über die Wahl der Thalseite die sorgfältigste Abwägung
aller erwähnten Verhältnisse, wobei auch nicht selten an ein-
zelnen Punkten ein Uebergang von einem Ufer an das andere
sich als empfehlenswerth erweisen wird.

Mit der weiteren Bearbeitung der Trasse beginnt man
nun in derjenigen Theilstrecke, in welcher die maßgebende
Steigung liegt, indem man prüft, ob das vorläufig dafür ange-
nommene Maß nicht noch günstiger gewählt werden kann,
was von Einfluß auf die Trassirung aller übrigen Theilstrecken
sein und selbst eine Rückwirkung auf die Bestimmung der
Durchbrechungshöhen der Wasserscheiden äußern würde.

Da die Betriebskosten der ganzen Linie um so geringer
werden, je kleiner die maßgebende Steigung gewählt wird,
so wird zunächst untersucht werden müssen, ob die maß-
gebende Steigung vom tiefsten bis zum höchsten Punkte in
einer einheitlichen, vielleicht nur an den Stationen unter-
brochenen Steigungslinie durchgeführt werden kann.

Eine Linie mit einheitlicher Steigung wird unter mög-
lichster Anschmiegung an die Bodengestaltung nach dem, in
§ 38 erörterten Verfahren im Schichtenplane aufzusuchen sein.
Sie wird meistens in vielfachen Krümmungen den Biegungen
des Thalzuges und der wellenförmigen Gestaltung des Thal-
hanges folgen. Nach Ermittlung dieser ersten Trasse, welche
man als eine natürliche Steigungslinie bezeichnen kann, muß
dann in Erwägung gezogen werden, ob man die Trasse nicht

besser in einem schlankeren Linienzuge, unter Abkürzung der Länge und dementsprechend steilerer Anordnung des Steigungsverhältnisses, durchführt, indem man die Krümmungen der natürlichen Steigungslinie ermäßigt oder ganz abschneidet, wobei die Einschnitte tiefer, die Dämme höher oder beziehungsweise durch Tunnel und Viadukte ersetzt werden.

Bei stark gekrümmten und mäßig ansteigenden Thälern ist zu untersuchen, ob es nicht zweckmässig sein würde, den Linienzug im Thale entlang ganz aufzugeben und unter einmaliger oder wiederholter Uebersetzung des Thales und Durchbrechung der zwei Thalwindungen scheidenden Bergrücken, vom untern Ausgangspunkte im Thale die Wasserscheide auf wesentlich abgekürztem und dementsprechend steilerem Wege zu gewinnen.

Die Entscheidung zwischen den verschiedenen, hiernach zur Wahl kommenden Trassen ist nach dem folgenden Rechnungsgange zu treffen.

Der für die Bahn zu erwartende Verkehr betrage T Tonnen Nutzlast und P Personen im Jahre. Der mit der maßgebenden Steigung s durchzuführende Theil der Trasse habe eine Länge l_1 , der übrige Theil der Linie eine Länge l_{11} mit der gleichwerthigen Steigung s_{11} . Dann sind die Betriebskosten:

$$K_1 = T (0,56 + 63 s) l_1 + P (0,967 + 40 s) l_1 \\ + T (0,56 + 23^{1/3} s + 39^{2/3} s_{11}) l_{11} + P (0,967 + 10^{2/3} s + 29^{1/3} s_{11}) l_{11}$$

und die Unterhaltungskosten:

$$K_{11} = U (l_1 + l_{11}).$$

Ist die durch die maßgebende Steigung zu ersteigende Höhe gleich h Kilometer und kommen in dieser Steigungslinie Kurven von α Grad Centriwinkelsumme vor, so ist nach

§ 23 zu setzen: $h + 0,0000175 \alpha = h_1$ und $l_1 = \frac{h_1}{s}$.

Unter Einsetzung dieser Beziehung erhält man $K = K_1 + K_{11}$ zu:

$$\begin{aligned} \text{(Gl. 58) } K = & \{ T(0,56 + 39^{2/3} s_{11}) + P(0,967 + 29^{1/3} s_{11}) + U \} l_{11} \\ & + (63 T + 40 P) h_1 + (0,56 T + 0,967 P + U) \frac{h_1}{s} \\ & + (23^{1/3} T + 10^{2/3} P) l_{11} s \text{ Pfennige.} \end{aligned}$$

Setzt man beispielsweise $T = 400000$, $P = 250000$, $U = 300000$, $l_{11} = 30$, ferner das erste Glied der Gleich. 58, welches von s und h_1 unabhängig ist $= M$, so erhält man in Mark:

$$K = M + 352000 h_1 + 7658 \frac{h_1}{s} + 3600000 s.$$

Wäre die Linie unter möglichster Anschmiegung an die Bodengestaltung im Thale entlang geführt, wobei $s = 0,005$ und $h_1 = 0,215$ sein möge, so wären die Betriebs- und Unterhaltungskosten hiernach:

$$K = M + 422974 \text{ Mark.}$$

Wäre dagegen im schlankeren Linienzuge eine Abkürzung der Linie erreicht, wobei $h_1 = 0,210$ und $s = 0,0052$ entstanden, so würden die Betriebs- und Unterhaltungskosten auf:

$$K = M + 401905 \text{ Mark}$$

ermäßigt, also um 21069 Mark im Vergleich zu der ersten, der Bodengestaltung sich genauer anschmiegenden Linie geringer geworden sein. Dieser schlankere Linienzug würde also den Vorzug verdienen, wenn die Mehrkosten des Baues kleiner als $\frac{21069}{0,04} = 526725$ Mark wären.

Wäre eine dritte Linie möglich, durch welche unter Abschneidung der Thalwindungen die Wasserscheide auf kürzerem Wege erreicht wird, so würden, wenn dabei $h_1 = 0,204$ und

$s = 0,001$ entstände, die Betriebs- und Unterhaltungskosten sein:

$$K = M + 264\,231 \text{ Mark.}$$

Im Vergleiche zu der zuerst in Rechnung gezogenen Traße wären die Betriebs- und Unterhaltungskosten also um 158 743 Mk. geringer, so daß sie den Vorzug verdiente, wenn die Baukosten um weniger als $\frac{158\,743}{0,04} = 3\,968\,575$ Mark größer als die der ersten Linie sind.

Nach diesen Rechnungen läßt sich die Entscheidung zwischen den verschiedenen zur Wahl stehenden Traßen und damit auch über die zweckmässigste Größe der maßgebenden Steigung in einfacher Weise treffen. Bei diesen Rechnungen wurde aber stets die Durchführung einer einheitlichen Steigung zur Erreichung der Wasserscheide angenommen, durch welche die maßgebende Steigung und in Folge dessen auch die Betriebs- und Unterhaltungskosten auf das geringste Maß gebracht werden. Abgesehen davon, daß schon durch die Zwischenstationen eine Unterbrechung der einheitlichen Steigung nöthig wird, erfordert aber oft die Durchführung einer solchen gebundenen Steigung, wenn auch im Hügellande nicht in gleichem Maße als im Gebirge, nicht unerhebliche Opfer an Baukosten. Wenn bei Durchführung der einheitlichen Steigung die Traße in einzelnen Strecken hoch über dem Thalboden zu liegen kommt, Seitenthäler auf hohen Dämmen oder Viadukten überschreiten muß, an steilen Hängen entlang zu führen ist oder sich von den zu berührenden Zwischenorten weit entfernt, wird in Frage zu ziehen sein, ob man durch Aufgebung der einheitlichen Steigung und durch besseren Anschluß an die Thalsole nicht an Baukosten mehr sparen kann als die Vermehrung der Betriebs- und Unterhaltungskosten beträgt. Die zur Entscheidung dieser

Frage anzustellenden Rechnungen sind in folgender Weise zu führen.

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten einer Bahnlinie von l_1 Kilometer Länge, deren maßgebende Steigung s ist, deren gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr s_1 und für den Personenverkehr s_{11} ist, betragen:

$$(Gl. 59.) \quad K = T (0,56 + 23^{1/3} s + 39^{2/3} s_1) l_1 + P (0,967 + 10^{2/3} s + 29^{1/3} s_{11}) l_1 + U l_1$$

Wäre die Linie mit einer einheitlichen Steigung von $s = 0,0052$ durchgeführt, also auf s_1 und $s_{11} = 0,0052$, ferner $l_1 = 40$, $T = 400\,000$, $P = 250\,000$ und $U = 300\,000$ Pfg., so wären nach Gl. 59 die Betriebs- und Unterhaltungskosten:

$$K = \frac{400\,000}{100} (0,56 + 63 \cdot 0,0052) 40 + \frac{250\,000}{100} (0,967 + 40 \cdot 0,0052) 40 + 3000 \cdot 40 = 379\,516 \text{ Mk.}$$

Wäre dagegen die Linie in gebrochener Steigung in einer Gesamtlänge von 42,8 Km der Thalsohle näher gebracht, wobei 15 Km die maßgebende Steigung $s = 0,008$, 8 Km eine Steigung von 0,006, 2 Km eine Steigung von 0,005 und 17,8 Km Steigungen unter 0,0036 haben, kämen in diesen letzten Strecken Kurven von insgesamt 360° Centriwinkel und in den schädlichen Steigungen von insgesamt 400° Centriwinkel vor, so würde nach § 11 die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr:

$$s_1 = \frac{1}{42,8} \left\{ 0,0036 \cdot 17,8 + 0,178 + 0,000018 (2 \cdot 360 + 400) \right\} = 0,00613$$

und für den Personenverkehr:

$$s_{11} = \frac{1}{42,8} \left\{ 0,0055 \cdot 19,8 + 0,168 + 0,000018 (2 \cdot 360 + 400) \right\} = 0,00694$$

wobei die durch die schädlichen Steigungen erstiegenen Höhen mit bezw. 0,178 und 0,168 Km eingesetzt sind.

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten sind mithin:

$$K = \frac{400\,000}{100} (0,56 + 23\frac{1}{3} \cdot 0,008 + 39\frac{2}{3} \cdot 0,00613) 42,8 \\ + \frac{250\,000}{100} (0,967 + 10\frac{2}{3} \cdot 0,008 + 29\frac{1}{3} \cdot 0,00694) 42,8 \\ + 3000 \cdot 42,8 = 432\,280 \text{ Mk.}$$

Die Betriebs- und Unterhaltungskosten sind also auf der Trasse mit gebrochener Steigung um $432\,280 - 379\,516 = 52\,764$ Mk. theurer als auf der Linie mit einheitlicher gebundener Steigung. Wird gemeinsam mit dieser Theilstrecke noch eine weitere Erstreckung von 30 Km Länge betrieben, so wachsen auf dieser in Folge der Vergrößerung der maßgebenden Steigung von 0,0052 auf 0,008 die Betriebskosten um:

$$K_1 = \frac{1}{100} (400\,000 \cdot 39\frac{2}{3} + 250\,000 \cdot 29\frac{1}{3}) (0,008 - 0,0052) \\ 30 = 19\,488 \text{ Mk.}$$

Im Ganzen stellt sich dann die Mehrausgabe an Betriebs- und Unterhaltungskosten auf $52\,764 + 19\,488 = 71\,252$ Mk., welche also eine Ersparung an Baukosten von mehr als $\frac{71\,252}{0,04} = 1\,781\,300$ Mk. gegenüberstehen müßte, wenn die in Frage gezogene Abweichung von der einheitlichen Steigung gerechtfertigt sein sollte.

Eine bei Weitem freiere Verfügung über die Anordnung der Steigungsverhältnisse hat man in denjenigen Theilstrecken der Bahnlinie, für welche die maßgebende Steigung bereits durch die Trassirung anderer Theilstrecken bestimmt ist. Abgesehen von den horizontal oder höchstens mit einer Längeneigung von 1 : 400 anzulegenden Stationen, sind nach den in § 27 entwickelten Grundsätzen, die Steigungsverhältnisse für die

ganze Länge der Bahnlinie entweder als schädliche oder umgekehrt überall als unschädliche anzuordnen. Falls die zu ersteigende Höhe und die Länge der Bahnlinie die ausschließliche Verwendung unschädlicher Steigungsverhältnisse gestatten, welche mit Rücksicht auf den Güterverkehr also kleiner als 0,0036 sein müssen, sind auch Gegensteigungen zulässig. Im umgekehrten Falle, wenn ausschließlich schädliche Steigungen angeordnet werden müssen, welche zwischen der maßgebenden Steigung und dem Grenzwerte der unschädlichen Steigungen des Personenverkehrs von 0,0055 zu halten sind, müssen aber sämtliche Steigungsverhältnisse in der gleichen Richtung ansteigen.

Unter Einhaltung dieser Regel wird man die Steigungsverhältnisse so wählen, daß die Baukosten möglichst gering werden, wobei die durch die Wasserverhältnisse und die Wegeübergänge gebotene Höhenlage zu berücksichtigen und allzu häufige Gefällwechsel zu vermeiden sind.

Zuweilen kann aber durch eine Abweichung von der erwähnten Regel eine Ersparung an Baukosten erreicht werden, welche die dadurch entstehende Vergrößerung der Betriebskosten übertrifft. Würde z. B. in einem Linienzuge, in welchem nur unschädliche Steigungen verwendet werden sollen, auf eine Strecke von 2 Kilometer Länge eine Steigung von 0,0045 verwendet, so würde für den Personenverkehr zwar noch keine Vergrößerung der Betriebskosten entstehen, wohl aber für den Güterverkehr eine Vermehrung um $39\frac{2}{3} \cdot (0,0049 - 0,0036) \cdot 2 = 0,0714$ Pfg., für jede Tonne, also bei einem Verkehr von 400 000 Tonnen Nutzlast eine Betriebskosten-Vermehrung von 286 Mk. erwachsen. Die Wahl des Steigungsverhältnisses von 0,0045 würde also vortheilhaft sein, wenn dadurch im Vergleich zur Durchführung einer Steigung von 0,0036 nur $\frac{286}{0,04} =$

7150 Mk. an Baukosten gespart würden. Ginge man mit der Steigung bis 0,006, so würde auch für den Personenverkehr eine Vermehrung der Betriebskosten eintreten und bei einem Verkehr von 250000 Personen die Betriebskosten-Vermehrung auf:

$$\frac{1}{100} \cdot 400000 \cdot 39\frac{2}{3} (0,006 - 0,0036) + \frac{1}{100} \cdot 250000 \cdot 29\frac{1}{3} (0,006 - 0,0055) = 835 \text{ Mark}$$

anwachsen, zu deren Rechtfertigung eine Ersparung an Baukosten von 20875 Mark erforderlich wäre.

Würde in einem anderen Falle, wo die Trasse durchweg mit schädlichen Neigungen durchgeführt werden müßte, eine Strecke von einem Kilometer Länge mit einer Steigung von 0,004 angeordnet, so würde für den Güterverkehr noch keine Kostenvermehrung entstehen, der Personenverkehr aber um

$$29\frac{1}{3} \cdot (0,0055 - 0,004) = 0,044 \text{ Pfg.}$$

für jede Person theurer werden. Bei Anwendung einer Steigung von 0,003 würde die Kosten-Vermehrung für die Person auf $29\frac{1}{3} (0,0055 - 0,003) = 0,073$ Pfg. wachsen und auch für die Nutztonne eine Betriebskosten-Vermehrung von $39\frac{2}{3} (0,0036 - 0,003) = 0,0238$ Pfg. entstehen.

Bei der weitem, ins Einzelne gehenden Bearbeitung der Trasse können aber auch Grundrißverlegungen und mithin Aenderungen der Krümmungsverhältnisse und der Länge der Linie aus den bereits bei der Trassirung im Flachlande erwähnten Rücksichten auf den Grunderwerb, die Bodenbeschaffenheit, die Wege-Uebergänge und die Wasserläufe in Frage kommen. In allen diesen Fällen ist zur Entscheidung über die Wahl der verschiedenen hierbei in Frage kommenden Strecken der Trasse für jede derselben die Summe der Betriebskosten, der Unterhaltungskosten und der Zinsen des

Anlagekapitals zu bilden, wie im folgenden Beispiele gezeigt werden soll.

Für eine Bahn, deren Verkehrsmenge 400 000 Tonnen Nutzlast und 250 000 Personen beträgt, deren Unterhaltungskosten 3000 Mark für den Km sind, und welche eine maßgebende Steigung $s = 0,01$ hat, kommen zwischen zwei Punkten zwei verschiedene Trassen A und B in Frage, von welchen die Linie A ein Anlagekapital von 600 000 Mark, die Linie B ein solches von 540 000 Mark erfordert. Die Linie A hat 2,5 Km Länge, wovon 2 Km in gerader Linie mit 0,009 Steigung liegen, also eine Steigungshöhe von 0,018 Km erreichen, und 0,5 Km, in welchen eine Kurve von 30° Centriwinkel vorkommt, horizontal sind. Die gleichwerthige Steigung dieser Linie für den Güterverkehr ist:

$$s_{11} = \frac{1}{2,5} \left(0,5 \cdot 0,0036 + 0,018 + 0,000018 \cdot 2 \cdot 30 \right) \\ = 0,00835$$

und für den Personen-Verkehr:

$$s_{11} = \frac{1}{2,5} \left(0,5 \cdot 0,0055 + 0,018 + 0,000018 \cdot 2 \cdot 30 \right) \\ = 0,00873.$$

Demnach sind die Betriebskosten:

$$K_1 = \frac{1}{100} \cdot 400\,000 \left(0,56 + 23\frac{1}{3} \cdot 0,01 + 39\frac{2}{3} \cdot 0,00835 \right) 2,5 \\ + \frac{1}{100} \cdot 250\,000 \left(0,967 + 10\frac{2}{3} \cdot 0,01 + 29\frac{1}{3} \cdot 0,00873 \right) 2,5 \\ = 19\,558 \text{ Mark.}$$

Fügt man hierzu die Unterhaltungskosten mit 7 500 Mark und die Zinsen des Anlagekapitals mit 24 000 Mark, so erhält man die Gesamt-Jahreskosten zu 51 058 Mark.

Die Linie B hat 3 Km Länge, welche eine Steigung von 0,006 haben und Kurven von 100° Centriwinkelsumme

enthalten. Die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr wie für den Personenverkehr ist daher

$$s_{11} = \frac{1}{3} (0,018 + 0,000018 \cdot 100) = 0,0066.$$

Demnach sind die Betriebskosten:

$$\begin{aligned} K &= \frac{1}{100} \cdot 400000 (0,56 + 23\frac{1}{3} \cdot 0,01 + 39\frac{2}{3} \cdot 0,0066) \cdot 3 \\ &+ \frac{1}{100} \cdot 250000 (0,967 + 10\frac{2}{3} \cdot 0,01 + 29\frac{1}{3} \cdot 0,0066) \cdot 3 \\ &= 22166 \text{ Mark.} \end{aligned}$$

Fügt man hierzu die Unterhaltungskosten mit 9000 Mark und die Zinsen des Anlagekapitals mit 21600 Mark, so erhält man die Gesamt-Jahreskosten zu 52766 Mark.

Die Linie *B* ist also um einen Jahresbetrag von 1,612 Mark unvorteilhafter als die Linie *A*.

§ 34.

Beurtheilung der Bauwürdigkeit zweier zur Wahl stehenden Trassen im Hügellande.

In Ergänzung der Erörterungen im vorhergehenden § 33 mag noch ein, der Wirklichkeit entnommenes Beispiel berechnet werden.

Für die Zweigbahn Sarnau-Frankenberg, welche im Jahre 1888 dem Betriebe übergeben werden wird, kamen zwei Linien in Frage. Diese normalspurige Lokalbahn soll nur von gemischten Zügen befahren werden, für welche die Betriebskosten der Güterzüge auf Hauptbahnen in Rechnung gebracht werden können. Der Verkehr wird voraussichtlich in der ersten Zeit nicht mehr als 300000 Tonnen Rohlast jährlich betragen; man wird aber mit Rücksicht auf die zu erwartende allmähliche Zunahme des Verkehrs, nach den in Heft I der Theorie des Trassirens § 12 über das Normalbetriebsjahr

gegebenen Erläuterungen eine Normal-Betriebsmenge von 400 000 Tonnen schätzungsweise zu Grunde legen können.

Die eine der in Frage kommenden Linien hat eine äußerste Steigung von 1 : 60 bei Krümmungshalbmessern von 300 m, also eine maßgebende Steigung $s = 0,0166 + 0,0033 = 0,02$. Von der ganzen Länge, welche 26,14 Km beträgt, liegen 10,9 Km in unschädlicher Steigung; die übrigen Strecken mit schädlicher Steigung ersteigen eine Höhe von 0,1879 Km. In den Strecken mit unschädlicher Steigung kommen Kurven mit einer Centriwinkelsumme von 722° vor, in den Strecken mit schädlicher Steigung Kurven von 918° Centriwinkelsumme. Die gleichwerthige Steigung der Linie ist daher:

$$s_{11} = \frac{1}{26,14} \{ 0,0036 \cdot 10,9 + 0,1879 + 0,000018 (2 \cdot 722 + 918) \} = 0,0103$$

und die Betriebskosten sind:

$$K = 26,14 \cdot \frac{1}{100} \cdot 400\,000 (0,24 + 10 \cdot 0,02 + 17 \cdot 0,0103) \\ = 64\,315 \text{ Mk.}$$

In der zweiten Linie ist die steilste Steigung 1 : 53, so daß bei Kurven von 300 m Halbmesser die maßgebende Steigung $s = 0,01887 + 0,00333 = 0,0222$ ist. Von der ganzen Länge, welche 26 Km beträgt, liegen 12 Km in unschädlicher Steigung und durch die übrigen Strecken mit schädlicher Steigung wird eine Höhe von 0,1931 Km erstiegen. Die Kurven in unschädlicher Steigung haben 699° Centriwinkelsumme, die Kurven in schädlicher Steigung 956° . Die gleichwerthige Steigung dieser Linie ist daher:

$$s_{11} = \frac{1}{26} \{ 0,0036 \cdot 12 + 0,1931 + 0,000018 (2 \cdot 699 + 956) \} = 0,0107$$

und die Betriebskosten sind:

$$K = 26 \cdot \frac{1}{100} \cdot 400\,000 (0,24 + 10 \cdot 0,0222 + 17 \cdot 0,0107) \\ = 66\,966 \text{ Mk.}$$

Der Betrieb dieser Linie mit steilerer Steigung ist also um $66\,966 - 64\,315 = 2\,651$ Mk. theurer als der der ersten Linie; da sie aber um 0,14 Km kürzer als die erste ist, so sind die Bahn-Unterhaltungskosten etwas geringer, so daß mit Rücksicht hierauf die Mehrkosten des Betriebes nur mit 2400 Mk. in Ansatz gebracht werden sollen. Da diese Linie mit steilerer Steigung in den Anlagekosten aber um 110 000 Mk., also um einen jährlichen Zinsbetrag von 4400 Mk. billiger als die andere Linie mit Steigungen von 1 : 60 ist, so ist sie um einen Jahresbetrag von $4400 - 2400 = 2000$ Mk. günstiger und verdient daher den Vorzug.

Die Entscheidung kann aber anders ausfallen, wenn man in Berücksichtigung zieht, daß in Zukunft eine Verlängerung der Bahn in Aussicht steht, für welche die größte Steigung der in Betrachtung stehenden Strecke ebenfalls zur maßgebenden Steigung wird.

Wäre nach 6 Jahren eine Verlängerung der Bahn um 25 Km und in Folge dessen eine Vermehrung des Verkehrs auf der ganzen Linie auf 500 000 Tonnen Rohlast oder um 100 000 Tonnen zu erwarten, so würde der Minderbetrag der Betriebskosten auf der Linie mit Steigungen von 1 : 60 sich um $\frac{1}{4}$ von 2651 Mk., also um 663 Mk. erhöhen. Auf der 25 Km langen Verlängerung würden die Betriebskosten, wenn die maßgebende Steigung 0,02 anstatt 0,0222 wäre, für jeden Tonnen-Kilometer der Rohlast $10 (0,0222 - 0,02) = 0,022$ Pfg. geringer sein, also im Ganzen um $25 \cdot 500\,000 \cdot 0,022 \cdot \frac{1}{100} = 2\,750$ Mk. Nach Ausführung der Verlängerung der

Bahn würde man also bei der Wahl der Linie mit Steigungen von 1 : 60 im Ganzen an Betriebskosten $2400 + 663 + 2750 = 5813$ Mk. sparen, also nach Abzug der Zinsen des Mehraufwandes an Neubaukosten noch $5813 - 4400 = 1413$ Mk. jährlich an Ausgabe sparen.

Bis zur Fertigstellung der Bahnverlängerung würden bei der Wahl der Linie mit Steigungen von 1 : 60 aber im Vergleich zu der anderen Linie mit Steigungen von 1 : 53 jährlich 2000 Mk. eingebüßt, was mit Zinsen und Zinseszinsen in 6 Jahren einen Verlust von $2000 \left(\frac{1,04^6 - 1}{0,04} \right) = 13420$ Mk. erzielt, dessen Jahreszinsen mit 537 Mk. von dem später eintretenden Vorzuge abzuziehen sind, so daß für die Linie mit Steigungen von 1 : 60 ein Vorthail von $1413 - 537 = 877$ Mk. jährlich verbleibt.

Würde die Verlängerung der Bahn aber erst nach 14 Jahren zur Ausführung gebracht, so würde der jährliche Verlust für die Linie mit Steigungen von 1 : 60 bis dahin zu einem Kapitale von rund 36 000 Mk. angewachsen sein, dessen Zinsen den dann eintretenden Vorthail dieser Linie übertreffen, so daß die Wahl der Linie mit Steigungen von 1 : 53 günstiger gewesen sein würde.

Die Entscheidung über die Wahl der Trasse hängt, ganz abgesehen von der Unsicherheit bei der Schätzung des zu erwartenden Verkehrs, wie dies Beispiel zeigt, oft von Umständen ab, über welche nur nach Muthmaßungen Annahmen gemacht werden können.

§ 35.

Trafsirung im Gebirge.

Im Gegensatz zu der Trafsirung im Hügellande, in welchem der Längenzug der Thäler zu Umwegen nöthigt, zu deren Abkürzung oft die Aufwendung erhöhter Anlagekosten gerecht-

fertigt ist, sind im Gebirge die Thäler häufig so kurz, daß zur Erreichung zweckmäßiger Steigungsverhältnisse eine, den Thalzug an Länge übertreffende Linie gesucht werden muß. Außerdem sind die Klima- und Wetterverhältnisse, welche im Hügellande nur ausnahmsweise einen Einfluß auf die Lage der Trasse äußern, im Gebirge oft von wesentlicher Bedeutung für die Trassirung.

Handelt es sich um die Erreichung eines Ortes im Gebirge, zu welchem man ohne Ueberschreitung einer Wasserscheide gelangen kann, so bildet, da die zu ersteigende Höhe gegeben ist, die erste und wichtigste Aufgabe die Bestimmung des zweckmäßigsten Steigungsverhältnisses. In den meisten Fällen ist aber das Gebirge zu überschreiten. Dann ist, im Zusammenhange mit der Bestimmung der günstigsten Lage und Steigung der beiderseitigen Zugangsrampen, zunächst die zweckmäßigste Durchbrechung der Wasserscheide nach Grundriss und Höhenlage zu suchen. Stehen mehrere Uebergangspunkte der Wasserscheide zur Wahl, so muß unter diesen derjenige Paß gesucht werden, welcher die Vorzüge geringer Höhe, geringer Durchbrechungslänge, bequemer Bodenbeschaffenheit, günstigster klimatischer Verhältnisse vereinigt und dessen Zugangsthäler für die Anlage der Zugangsrampen die besten Bedingungen bieten sowie in ihren unteren Ausgangspunkten der kommerziellen Trasse möglichst nahe liegen.

Zur Beurtheilung der Zugangsthäler kommen in Frage:

1. Die Gestaltung.

- a. Das Längengefälle des Thalzuges, welches möglichst wenig von der zu ermittelnden zweckmäßigsten Steigung abweichen sollte;

- b. Die Querschnittsform des Thales, dessen eingrenzende Höhen nicht zu hoch und dessen Hänge nicht zu steil sein sollten.
- c. Die Grundriffsform des Thalweges, welche nicht zu scharfe, spitzwinklige Windungen zeigen sollte.
- d. Das Vorhandensein von Seitenthälern, welche für eine etwa vorzunehmende Längen-Entwicklung der Trasse gut benutzbar sind.

2. Die Bodenbeschaffenheit.

- a. Der Boden sollte möglichst bequem lösbar und nicht zu flache Damm- und Einschnittsböschungen erfordern.
- b. Die Gefahr von Rutschungen sollte möglichst gering sein. In dieser Beziehung ist besonders zu beachten, ob Anzeichen früherer Rutschungen vorhanden sind.
- c. Steinsturze sollten möglichst wenig vorkommen.
- d. Baustoffe, wie Mauersand, Bettungskies, Bruchsteine u. s. w. sollten billig und in guter Beschaffenheit zu haben sein.

3. Die Wasserverhältnisse.

- a. Die Größe des Flußgebietes und die jährliche Niederschlagsmenge, woraus Schlüsse auf die Wassermenge zu ziehen sind, welche der Fluß bei Niedrigwasser, bei gewöhnlichem Wasser und bei Hochwasser in der Sekunde abführt.
- b. Das Vorhandensein bereits benutzter oder doch nutzbar zu machender Wasserkräfte.
- c. Das Vorhandensein von Wildbächen, welche Schuttkegel oder Murgänge bilden.
- d. Das Vorhandensein von Wildbächen, welche Wasser-schleier oder Staubbäche bilden.

4. Klima- und Wetterverhältnisse.

- a. Die Lage der Thalhänge gegen die Sonne.
- b. Die Höhe und Dauer der Schneelage.

- c. Das Vorkommen von Lawinen.
 - d. Der durchschnittliche Wärmegrad, besonders während der Wintermonate.
5. Die wirthschaftlichen Verhältnisse.
- a. Die wirthschaftliche Benutzung und Ergiebigkeit der Bodenfläche, welche von Einfluß auf die Kosten des Grunderwerbs und auf die Gröfse des Lokalverkehrs sind.
 - b. Die Ansiedelungsverhältnisse, welche von Bedeutung für die Gröfse des Lokalverkehrs, für die Anlage der Stationen und für die Unterbringung der Arbeiter während der Bauzeit sind.
 - c. Die Art der wirthschaftlichen Thätigkeit der Bevölkerung.
 - d. Die Lage und der Zustand der vorhandenen Wege.

Die richtige Abwägung aller dieser Verhältnisse, welche bei der Auswahl verschiedener für die Trassirung in Frage kommender Thäler in Berücksichtigung zu ziehen sind, bildet begreiflicherweise eine sehr schwierige, nur bei klarem Urtheil und auf Grund reicher Erfahrung zu lösende Aufgabe. In den meisten der überhaupt nicht häufig vorkommenden Fälle, in welchen eine Auswahl zwischen verschiedenen Thälern zu treffen ist, werden einige der erwähnten Verhältnisse sich von so durchschlagender Bedeutung erweisen, daß alle übrigen Umstände außer Berücksichtigung bleiben können. Nur in Ausnahmefällen wird zu endgültiger Entscheidung eine vollständige Bearbeitung einander gegenüber zu stellender Entwürfe nothwendig werden. Dagegen bleiben für die genaue Feststellung der einzelnen Theile der Trasse alle angegebenen Verhältnisse der Thäler von Bedeutung.

Nach Entscheidung über die Wahl der Thalzüge, welche von beiden Seiten zur Ersteigung der Wasserscheide benutzt werden sollen, muß unter Beachtung der wechselseitigen Beziehungen der Steigungshöhe und der Neigungsverhältnisse

der beiderseitigen Zugangsrampen die zweckmässigste Durchbrechungshöhe der Wasserscheide ermittelt werden. Mit der Tieferlegung der Durchbrechungshöhe der Wasserscheide, also mit Verringerung der Steigungshöhe wird nach Gl. 31, § 23 auch das Mafs des zweckmässigsten Steigungsverhältnisses der Zugangsrampen kleiner, so dafs im Allgemeinen mit jeder Veränderung der Scheitelhöhe der Trafse auch die Länge und das Steigungsverhältnifs der Zugangsrampen verändert werden müssen.

Für die Feststellung der Durchbrechungshöhe der Wasserscheide ist häufig der Umstand von entscheidendem Einflusse, dafs die offene Höhenlage der Trafse ihre obere Grenze durch die Erschwerungen des Betriebes in Folge von Schnee und Eis findet.

Die höchste Lage der offenen Trafse in Meereshöhe beträgt bei den Alpenbahnen:

Am Gotthard an der Nordseite	1109 m
Am Gotthard an der Südseite	1145 „
An der Pusterthalbahn	1213 „
An der Mont-Cenis-Bahn	1297 „
An der Brennerbahn	1373 „
Am Arlberg an der Ostseite	1302 „
Am Arlberg an der Westseite	1215 „

Weit erheblichere Meereshöhen werden in anderen Erdtheilen durch Eisenbahnen überschritten. In Central-Amerika hat die Denver- and Rio-Grande-Eisenbahn am La Vata-Pafs 2950 m und am Marshall-Pafs 3430 m Meereshöhe, die Peru-Bolivianische Bahn von Arequipa nach dem Titicaca hat an dem Portes del Cruzera 4470 m und die Lima-Oroya-Eisenbahn die grösste durch Eisenbahnen bis jetzt erreichte Meereshöhe von 4778 m.

Die Betriebserschwerungen auf Bahnen in hoher Lage

entstehen aus der verminderten Adhäsion der Triebräder auf den Schienen und aus dem Schneefall. Nach Erfahrungen auf der Kaiser-Ferdinands-Nordbahn, welche Stöckert*) mittheilt, soll bei starker Kälte eine Verminderung der Zugbelastung eintreten müssen, welche bei 0° zu 5 Prozent, bei -5° zu 10 Prozent, bei -10° zu 15 Prozent und bei -15° zu 20 Prozent bemessen werden muß. Wäre also beispielsweise die mittlere Temperatur während 6 Wintermonaten -6° , so müßte die Zugbelastung im Winter 11 Prozent geringer als im Sommer sein.

Zu diesem Nachtheile kommt noch die Vertheuerung der Bahnunterhaltung durch die Schneeräumungskosten und der Uebelstand häufiger Betriebsstörungen durch starke Schneefälle und Schnee-Verwehungen. In gewisser Höhenlage, welche aber je nach der geographischen Lage sehr verschieden ist, erreichen die Unbilden des Wetters und die daraus entstehenden Erschwerungen, Störungen und Vertheuerungen des Betriebes und der Bahnunterhaltung einen solchen Grad, daß eine offene Führung der Trasse ausgeschlossen ist.

Aber auch dann, wenn die Wetterverhältnisse eine offene Führung der Trasse noch gestatten sollten, wird man doch ein Gebirge nur ausnahmsweise mittelst eines offenen Einschnitts, wie es beispielsweise am Brenner möglich war, überschreiten können, sondern in der Regel die Wasserscheide mittelst eines Tunnels durchbrechen müssen, um die zweckmäßigste Höhenlage für den Uebergang zu erhalten.

Bei den Untersuchungen über die zweckmäßigste Höhenlage dieses Scheiteltunnels wird meistens nur die Wahl zwischen einzelnen, in bestimmten gegebenen Höhenabständen befindlichen Lagen des Tunnels möglich sein und nicht eine be-

*) Die Alternativ-Trafen der Arlbergbahn von Franz Ritter von Stöckert. Wien 1880.

liebige zwischen diesen Punkten sich haltende Höhenlage angenommen werden können, da die Tunnel-Ausgänge eine genügende Raumentwicklung für die erforderlichen Vorkehrungen zum Bau und meistens auch für die Anlage einer Station bieten und möglichst bequem für den Anschluß der Zugangsrampen liegen müssen.

Sind für eine der in Frage kommenden Lagen des Scheiteltunnels die Tunnelausgänge A und B nach Grundriß- und Höhenlage, und somit auch die Tunnellänge AB vorläufig festgestellt, so muß eine fernere Bestimmung der unteren Endpunkte C und D der Zugangsrampen AC und DB getroffen werden. Es muß dann ermittelt werden, ob die Stationen, von denen aus der Betrieb der Gebirgsstrecke beginnen soll, nicht über C hinaus noch weiter thalwärts nach E und über D hinaus thalwärts nach F zweckmäßig zu legen sind. Gemeinsam mit den Rampen CA und DB mit maßgebender Steigung sind dann noch die Strecken EC und DF sowie die Tunnelstrecke AB von den Zügen in unveränderter Zusammensetzung zu befahren. Die Summe der Längen des Scheiteltunnels und der Strecken EC und DF sei $= l$ und die gleichwerthige Steigung derselben s_{II} . Zu den Höhen h_1 und h_{II} , welche durch die Rampen CA und DB mit maßgebender Steigung zu ersteigen sind, ist dann noch wegen der Ermäßigung des Steigungsverhältnisses in den Kurven ein Zuschlag zu geben, welcher bei α Grad Centriwinkelsumme dieser Kurven zu $0,000018 \alpha$ bemessen werden muß. Der zu ersteigenden Höhe ist ein weiterer Zuschlag in Berücksichtigung der in längeren Tunneln vorzunehmenden Verringerung des Steigungsverhältnisses zu geben. Diese Verringerung der Steigung wurde bei der Gotthardbahn für alle Tunnel von mehr als 500 m Länge zu 0,3 Proz. angenommen, würde bei Festhaltung dieser Regel also bei einer Gesamtlänge λ aller

Tunnel, deren Länge 500 m überschreitet, in Kilometern $h_0 = 0,003 \lambda$ betragen. Die rechnermässig für beide Rampen anzunehmende Steigungshöhe ist hiernach:

$$h = h_1 + h_{11} + 0,000018 \alpha + 0,003 \lambda.$$

Nachdem in solcher Weise die Verhältnisszahl $\frac{l}{h} = m$, ferner die Höhe der kilometrischen Anlagekosten A , der kilometrischen Bahn-Unterhaltungskosten U , die aus der Summe der jährlich zu befördernden Tonnen Nutzlast und Personen gebildete Zahl der Verkehrseinheiten T bestimmt sind, berechnet man nach Formel 31 das zweckmässigste Ansteigungsverhältniss.

Der Zugkraftkoeffizient ist in dieser Rechnung zu 0,1 anzusetzen, wie für Gebirgsbahnen im Allgemeinen als zutreffend angenommen werden kann.

Giebt diese Rechnung, wie ziemlich häufig vorkommen wird, eine so steile Ansteigung, dass die Rampenlänge kürzer ausfällt als die Länge des Thalzuges ist, welcher den Zugang zum Scheitelpunkte bildet, so verliert die Trasse eines der Merkmale einer Gebirgstrasse, nämlich die Nothwendigkeit einer künstlichen über die Länge des Thalzuges hinausgehenden Längen-Entwicklung, wenn sie auch im Uebrigen den Charakter einer Gebirgstrasse behält.

Es muss aber hervorgehoben werden, dass die Berechnung der zweckmässigsten Steigung nach Gleichung 31 für die Wahl der Steigung noch nicht ganz entscheidend ist, denn durch diese Gleichung konnten manche Uebelstände, welche eine steilere Steigung besitzt, nicht in Berücksichtigung gezogen werden. Es ist in dieser Beziehung zunächst auf die mit der Steigung wachsende Gefährlichkeit des Betriebes, sodann auf die grössere Abnutzung der Schienen und Radreifen durch das stärkere Bremsen hinzuweisen, ferner auf die be-

sonders für den Personen-Verkehr nicht erwünschte Verringerung der Fahrgeschwindigkeit, durch welche die Ausgaben für das Zugpersonal und für Verzinsung des Anschaffungskapitals der Lokomotiven und Tenders, wachsen, welche in der Formel als gleichbleibend für alle Steigungsverhältnisse angenommen wurden. Endlich ist noch zu berücksichtigen, daß auf steilen Steigungen in Folge des geringen Gewichts der einzelnen Züge eine große Anzahl von Zügen nöthig und bei zunehmendem Verkehr früher die Anlage eines zweiten Gleises erforderlich wird.

Da nun die durch Gl. 31 berücksichtigten Verkehrskosten, wie Tabelle XIV zeigt, mit einer Verflachung des Steigungsverhältnisses nur langsam zunehmen, so wird durch die erwähnten, nicht in Rechnung gezogenen Umstände, welche ein steiles Steigungsverhältniß unvorthellhaft machen, statt des nach Gl. 31 berechneten ein nicht unerheblich flacheres Steigungsverhältniß zu wählen sein. Aber selbst bei reichlich hoch bemessener Berücksichtigung aller, für eine Verflachung der Steigung geltend zu machenden Umstände wird man sich der Ueberzeugung nicht verschließen können, daß bei vielen, mit starker Längenentwicklung trassirten Gebirgsbahnen das Steigungsverhältniß zu flach gewählt wurde. Es kann z. B. die von Gerwig in so interessanter Weise entwickelte Trasse der Schwarzwaldbahn von Offenburg bis Villingen in Bezug auf das gewählte Steigungsverhältniß von 1 : 55 beinahe als eine Verschwendung bezeichnet werden. Auch die von Hellwag in so meisterhafter Weise durchgeführte Trasse der Gotthardbahn würde gewiß wirthschaftlich richtiger eine steilere Steigung erhalten haben, man hat auch wahrscheinlich nur mit Rücksicht auf den Vertrag, durch welchen ein Steigungsverhältniß von 1 : 40 vorgeschrieben war, nicht über die Steigungen von 0,026 und 0,027 hinauszugehen gewagt.

Für die nördliche Rampe des Gotthard, welche zwischen den Stationen Erstfeld und Göschenen eine gesonderte Betriebsstrecke bildet, würde sich die zweckmässigste Steigung nach Gleichung 31 wie folgt ergeben.

Die Steigungshöhe zwischen der Station Erstfeld und dem Tunneleingange bei Göschenen beträgt 0,6 Km. Nimmt man an, daß in dieser Strecke Kurven von 2000° Centriwinkelsumme vorkommen, so ist wegen der Verminderung der Steigung in den Kurven jene Höhe rechnerisch um $2000 \cdot 0,000018 = 0,036$ Km vergrößert anzunehmen. Kommen ferner im Ganzen 3 Km Tunnel von mehr als je 500 m Länge vor, so ist wegen der in diesen vorzunehmenden Verringerung der Steigung ein weiterer Zuschlag von $0,003 \cdot 3 = 0,009$ Km zu der Steigungshöhe zu geben, welche sich danach auf $0,6 + 0,0036 + 0,009 = 0,6126$ Km stellt.

Da nach dem zu erwartenden Rechnungsergebnisse die maßgebende Steigung nicht bei der Station Erstfeld zu beginnen braucht, sondern da die Trasse von Erstfeld aus erst auf einige Kilometer Länge dem Thalboden mit schwachen Steigungen folgen kann und da ferner für die Stationen horizontale Strecken anzulegen sind, so ist anzunehmen, daß außer den Rampen mit maßgebender Steigung schätzungsweise noch $l = 6$ Km mit geringen Steigungen vorkommen, auf welchen die gleichwerthige Steigung etwa $s_{11} = 0,0044$ sein wird.

Die Verhältniszahl $m = \frac{l}{h}$ ist also $= \frac{6}{0,6126} = 9,8$.

Die kilometrischen Anlagekosten sollen zu 700 000 Mk., die kilometrischen Unterhaltungskosten zu 4 000 Mk. und die Verkehrsmenge (Summe der Personen und der Tonnen Nutzlast) in Berücksichtigung der allmählichen Zunahme zu 800 000 angenommen werden.

Es sei dann ferner der Ladekoeffizient $b = 2\frac{1}{3}$, der

Zinsfuß $i = 0,04$, $w = 0,0036$, $z = 0,1$, $L = 60$, $B_0 = 32$, $a = 25$, so daß also $B = 32 + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 60 = 107$ ist, ferner $e = 2$ und $f = 0,15$.

Die ideale Zugzahl ist daher nach § 23, S. 141:

$$n = \frac{2^{1/3} \cdot 800\,000 \cdot 0,0036}{(0,1 - 0,0036) \cdot 60} = 1162$$

und die zweckmäßigste Ansteigung nach Gl. 31:

$$s = \frac{0,1 - 0,0036}{1 + \sqrt{\frac{0,1}{0,0036} \cdot \frac{107 + 9,3 \cdot 0,0964 (32 + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 60 \cdot 0,008 + \frac{2 \cdot 60}{0,1} \cdot 0,0964^2)}{107 + \frac{1}{1162} (70\,000\,000 \cdot 0,04 + 400\,000 + 0,15 \cdot 2^{1/3} \cdot 800\,000)}}$$

das ist $s = 0,045$.

Bei solchem Steigungsverhältniß würde die Ersteigung der Höhe von 0,645 Km eine Steigungslänge von 14,33 Km erfordern. Da die Länge des Thalzuges von Erstfeld bis Göschenen 20 Km beträgt, so würden für die Anlage der Stationen und für die in der Nähe des Thalbodens liegende Anfangsstrecke noch 5,67 Km übrig bleiben. Das Ergebnis der Rechnung, welche unter der Voraussetzung einer künstlichen Längenentwicklung der Steigungslinie geführt wurde, zeigt also, daß eine solche nicht erforderlich ist, da die Länge des Thalzuges größer ist als die bei Durchführung des günstigsten Steigungsverhältnisses erforderliche Länge der Rampe.

Da eine Abkürzung des Thalzuges nicht möglich ist, so wird man nun, nach den in § 33 gegebenen Erörterungen, die Betriebskosten auf das geringste mögliche Maß bringen, wenn man vom Anfangspunkte bei Erstfeld bis zum Tunnel- einge bei Göschenen die Trasse mit einheitlicher Steigung, abgesehen von der in den Kurven und längeren Tunneln vor-

zunehmenden Verminderung der Steigung, aufwärts führt. Unter Berücksichtigung der Einlegung von drei Zwischenstationen mit je 500 m horizontaler Strecke würde man eine Steigung von 0,035 in gerader, offener Strecke mit einer Gesamtlänge der Linie von 20 Km haben durchführen können. Die ausgeführte Trasse hat dagegen bei 28,9 Km Länge eine Steigung von 0,026 auf 24,3 Km Länge und Kurven von 300 m Halbmesser, also eine maßgebende Steigung von $0,026 + \frac{1}{300} = 0,0293$.

Die Betriebskosten wie auch die Baukosten der steileren kürzeren Linie würden zweifellos billiger als die der ausgeführten Linie sein.

Für die ausgeführte Linie, in welcher Kurven von etwa 2800° Centriwinkelsumme vorkommen, 0,6 Km mit schädlicher Steigung erstiegen werden und 4,6 Km in unschädlicher Steigung liegen, ist die gleichwerthige Steigung für den Güterverkehr

$$s_{11} = \frac{1}{28,9} \left(4,6 \cdot 0,0036 + 0,6 + 0,000018 \cdot 2800 \right) = 0,0231$$

dagegen für eine, mit einer maßgebenden Steigung von 0,035 trassirte Linie:

$$s_{11} = \frac{1}{20} \left(1,67 \cdot 0,0036 + 0,6 + 0,000018 \cdot 2000 \right) = 0,0321.$$

Die Betriebskosten für eine Tonne Rohlast sind daher auf der ausgeführten Linie nach Gl. 7, S. 48:

$$\begin{aligned} k &= 28,9 \left\{ 0,15 + 2 \cdot 0,0293 \right. \\ &+ \frac{32(0,0036 + 0,0293) + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 60(0,0036 + 0,0231)}{60(0,1 - 0,0036 - 0,0293)} \left. \right\} \\ &= 28,5 \text{ Pfg.} \end{aligned}$$

und auf der Linie ohne Längenentwicklung:

$$\begin{aligned}
 k &= 20 \left\{ 0,15 + 2 \cdot 0,035 \right. \\
 &+ \left. \frac{32 (0,0036 + 0,035) + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 60 (0,0036 + 0,0321)}{60 (0,1 - 0,0036 - 0,035)} \right\} \\
 &= 25,6 \text{ Pfg.}
 \end{aligned}$$

Man würde also bei 800 000 Tonnen Rohlast der Güterzüge, wie solcher jetzt auf der Gotthardbahn etwa stattfindet, jährlich 800 000 $(28,5 - 25,6) \cdot \frac{1}{100} = 23200$ Mark auf der

steileren und kürzeren Linie ersparen. Mit Rücksicht auf die langsamere Fahrgeschwindigkeit und die dadurch wachsenden Kosten für das Zugpersonal und Verzinsung des Anschaffungskapitals der Betriebsmittel mag diese Ersparung nur zu 20 000 Mark angenommen werden und die beim Personenverkehr eintretende Betriebskosten-Ersparung zur Ausgleichung des Nachtheils der langsameren Fahrgeschwindigkeit ganz außer Betracht bleiben. Zu der hiernach nur zu 20 000 Mark festgestellten Ersparung an Betriebskosten kommt dann noch ein Minderbetrag an Bahn-Unterhaltungskosten mit je 4000 Mark auf den Km, also für 8,9 Km mit rund 35 000 Mark, so daß sich für die kürzere Linie die Ersparung an Betriebs- und Unterhaltungskosten auf jährlich 55 000 Mark berechnet.

Die Baukosten der steilern, dem Thalzuge ohne Längsentwicklung folgenden Linie würden in der oberen Strecke von etwa 7 Km Länge, wo sie dem Thalboden näher liegt als die ausgeführte Linie, etwas geringer geworden sein, und auch die unteren 13 Km dieser Linie würden, wenngleich die Trasse hier streckenweise in sehr schwierige und gefährdete Lage am Thalhange würde zu liegen gekommen sein, doch höchst wahrscheinlich billiger geworden sein als die 21,9 Km lange ausgeführte Linie. Mit einer Gesamt-Tunnellänge von 7,3 Km, wie sie die ausgeführte Trasse hat, würde man auch in der steileren Linie wohl alle schwierigen und gefähr-

deten Strecken überwunden haben können. Die kürzere Linie würde aber selbst noch dann vortheilhafter gewesen sein, wenn ihre Baukosten um einen Jahreszinsbetrag von 55 000 Mark höher wären. Ein gegen alle Einwendungen sicheres Urtheil über die Frage der Baukosten kann allerdings erst auf Grund eines genauen Bauplans gewonnen werden. Wenn nun auch, so weit sich ohne solche genauere Bearbeitung beurtheilen läßt, für die nördliche Zugangsrampe des Gotthard ein steileres Steigungsverhältniß vortheilhafter gewesen wäre und wenn ein solches auch wahrscheinlich ausgeführt worden wäre, wenn in Bezug auf das anzuwendende Steigungsverhältniß nicht beschränkende Vertragsbestimmungen vorgelegen hätten, so konnte es doch nicht in der Absicht liegen, hier eine alle Umstände erschöpfend berücksichtigende Begutachtung der Gotthardtrafse zu geben, sondern es sollte lediglich an einem hervorragenden Beispiele gezeigt werden, nach welchen Rechnungen und Erwägungen die Ermittlung des zweckmässigsten Steigungsverhältnisses einer Gebirgsbahn vorzunehmen ist. Es ist noch zu beachten, daß bei Durchführung einer steileren Steigung für die Gotthardbahn die Herstellung eines zweiten Gleises, welche übrigens auch schon jetzt trotz der flachern Steigungen vorgenommen werden muß, früher nothwendig geworden wäre.

Hat die Bestimmung der zweckmässigsten Gröfse der maßgebenden Steigung stattgefunden, so muß in Untersuchung gezogen werden, ob die vorläufig angenommene Höhenlage der Durchbrechung der Wasserscheide nicht dadurch eine Veränderung erfahren muß.

Kann die Scheitelhöhe mit der festgesetzten maßgebenden Steigung s nur durch künstliche Längenentwicklung gewonnen werden, so wird bei Senkung oder Hebung des Scheitels um h Kilometer die Länge jeder der beiden Zugangsrampen um $\frac{h}{s}$

Km kleiner oder größer werden. Sind also die Zinsen des Anlagekapitals, die Unterhaltungs- und Betriebskosten für einen Km der Zugangsrampen gleich K , so sind die Kosten der Höhenänderung der Wasserscheiden-Durchbrechung mit dem Betrag $2 \frac{Kh}{s}$ in Vergleich zu stellen.

Ein passendes Beispiel der Beleuchtung dieses Falles liefert die Arlbergbahn. Für diese kamen bekanntlich eine obere und eine untere Trasse in Frage, über deren Vorzüge und Nachtheile seiner Zeit ein heftiger Kampf geführt wurde.

Der Verkehr der Arlbergbahn überwiegt in der Richtung von Ost nach West, in welcher die maßgebende Steigung zu 0,0264 festgestellt war, sehr erheblich den Verkehr von West nach Ost, in welcher dementsprechend das Steigungsverhältniß zu 0,0314 angeordnet wurde.

Beträgt der Verkehr an Nutzlast in der Nebenrichtung nur die Hälfte desjenigen der Hauptrichtung, ist der Ladungskoeffizient in der Hauptrichtung $b = 2^{1/3}$, ist der Zugkraftskoeffizient $z = 0,1$, der Widerstandskoeffizient $w = 0,0036$, so kann bei einer maßgebenden Steigung der Hauptrichtung $s = 0,0264$ in der Nebenrichtung nach Gl. 12, S. 63 eine Steigung $s_1 = 0,0317$ vorkommen. Für die Berechnung der Betriebskosten ist bei einem, in solchem Maße ungleichen Verkehre der beiden Richtungen dann nach Gl. 16, S. 68 ein Ladungskoeffizient $= \frac{2b}{1+r}$, also $= \frac{2 \cdot 2^{1/3}}{1 + 1/2} = 3^{1/3}$ zu Grunde zu legen.

Die Betriebskosten für einen Tonnen-Km der Nutzlast sind also auf der maßgebenden Steigung nach Gl. 4, S. 44:

$$k = 3^{1/9} \left\{ 0,15 + 2 \cdot 0,0264 \right. \\ \left. + \frac{32 (0,0036 + 0,0264) + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 60 (0,0036 + 0,0264)}{60 (0,1 - 0,0036 - 0,0264)} \right\} \\ = 3,157 \text{ Pfg.}$$

für den Personenverkehr, welcher in beiden Richtungen gleich groß anzunehmen ist, wird die größere Steigung der Nebenrichtung 0,0314 zur maßgebenden Steigung, so daß die Betriebskosten für den Personen-Km auf der maßgebenden Steigung sind:

$$k = 1^{1/3} \left\{ 0,405 \right. \\ \left. + \frac{27 (0,0055 + 0,0314) + \frac{1}{2} \cdot 25 \cdot 0,1 \cdot 54 (0,0055 + 0,0314)}{54 (0,1 - 0,0055 - 0,0314)} \right\} \\ = 1,9 \text{ Pfg.}$$

Unter Annahme eines Verkehrs von 500 000 Tonnen Nutzlast und 300 000 Personen sind demnach die kilometrischen Betriebskosten auf der maßgebenden Steigung:

$$K = \frac{1}{100} (500\,000 \cdot 3,157 + 300\,000 \cdot 1,9) = 21\,485 \text{ Mk.}$$

Unter Hinzufügung der Bahn-Unterhaltungskosten im Betrage von 5000 bis 6000 Mk. erhöht sich dieser Betrag auf rund 27 000 Mk.

Die untere Trasse hat einen Scheiteltunnel von 10270 m Länge, dessen Eingänge auf 1215 und bzw. 1302 m Meereshöhe liegen, wogegen die obere Trasse einen Scheiteltunnel von 7000 m Länge hat, dessen Eingänge auf 1382 m und bzw. 1378 m Meereshöhe liegen. Die obere Trasse ist um 5,4 Km, welche in maßgebender Steigung ansteigen, länger als die untere, so daß sie an Betriebs- und Unterhaltungskosten um $5,4 \cdot 27\,000 \text{ Mk.} = 145\,800 \text{ Mk.}$ theurer als die untere ist. Die obere Trasse hat ferner 3 Stationen mehr als die untere und 7 Km Mehrlänge in offener Strecke, so daß wegen der Betriebskosten der 3 Stationen und der Mehr-

kosten für Schneeräumung der Mehrbetrag der Betriebs- und Unterhaltungskosten auf rund 160 000 Mk. zu veranschlagen ist, welcher bei Anrechnung von 4 Proz. einem Kapitale von 4 Mill. Mk. entspricht.

Stöckert (a. a. O.) berechnet die Mehrkosten für die Anlage der unteren Trafse unter Berücksichtigung des Zinsverlustes während der Bauzeit, welche er für die Zugangsrampen zu 3 Jahren, für den oberen Tunnel zu $4\frac{1}{2}$ Jahren und für den unteren Tunnel zu 5 Jahren annahm, auf $2\frac{3}{4}$ Mill. Gulden oder rund $4\frac{1}{2}$ Mill. Mark.

Die obere Trafse ist hiernach um ein Kapital von 500 000 Mk. oder um einen Jahresbetrag von 20 000 Mk. vortheilhafter als die untere. Man hat bekanntlich trotzdem der unteren Trafse den Vorzug gegeben, obgleich von Verfechtern derselben ihre Mehrkosten unter Annahme eines geringeren Verkehrs als hier geschehen auf mehr als das Doppelte des hier berechneten Betrages geschätzt wurden, weil man von der offenen Lage in großer Meereshöhe sehr erhebliche Erschwerungen und häufige Störungen des Betriebes fürchtete.

Diese Befürchtungen haben durch die Erfahrungen im Winter 1888, in welchem selbst auf der unteren Trafse der Betrieb durch den Schnee erhebliche Störungen erlitt, sich in vollem Mafse bestätigt.

Ueber das Mafse der Erschwerungen und Vertheuerungen des Betriebes und des Baues, welche bei Bahnen in großer Meereshöhe zu erwarten sind, kann begreiflicher Weise nur auf Grund eingehender Studien der örtlichen Verhältnisse und reicher Erfahrungen ein zutreffendes Urtheil gewonnen werden. Es ist aber nicht allein die Höhenlage über dem Meeresspiegel, sondern auch die Höhenlage in Bezug auf den Thalboden, welche den Bau und Betrieb oft in solchem Mafse vertheuert, daß eine durchgreifende Aenderung der Grundsätze, nach

welchen die Trassirung durchgeführt wurde, in Frage kommen kann, wie die folgenden Erörterungen zeigen.

§ 36.

Gebundene oder gebrochene Steigung.

Da die Thäler im Allgemeinen ein von oben nach unten allmählich abnehmendes Gefälle haben, so wird eine einheitliche, etwa mit dem mittleren Gefälle des Thalweges von der Wasserscheide abwärts geführte Gefälllinie, anfangs sich immer mehr von der Thalsole entfernen, in einem gewissen Punkte den größten Höhenabstand über dieser erreichen, von hier aus abwärts sich dem Thalboden allmählich wieder nähern und endlich in denselben einlaufen.

Bei Unregelmäßigkeiten im Längengefälle des Thalweges, wie sie bereits im § 1 erwähnt wurden, kann es vorkommen, daß eine einheitliche Neigungslinie in einzelnen Strecken eine tiefere Lage als der Thalweg erhalten würde und in einem, tiefer als das Flußbett liegenden Tunnel durchgeführt werden müßte. Wenn nun auch in manchen Fällen die Ausführung eines solchen Tunnels keine außergewöhnlichen Schwierigkeiten bieten sollte, so würden in andern Fällen sich doch die Erschwerungen durch den Wasserzudrang bis zur Unausführbarkeit steigern. Man wird aber die Lage der Trasse unterhalb des Flußbettes meistens schon wegen der Höhe der Anlagekosten zu vermeiden haben. Derjenige Punkt des Thalweges, welcher den größten Höhenabstand über einer, mit einheitlicher Neigung durchgeführten Trasse haben würde, wird dann als technischer Festpunkt für die Höhenlage der Trasse angenommen. Der obere Ausgangspunkt der Dazio-Schlucht im Tessinthale, in der südlichen Zugangsrampe des Gotthard, bildet beispielsweise einen solchen Punkt.

mit der Trasse nicht zu hoch über die Thalsohle zu gelangen.

Ein großer Höhenunterschied zwischen der Trasse und der Thalsohle ist aus mannigfachen Gründen nicht erwünscht, wenngleich der Grunderwerb in höheren Lagen in der Regel billiger als in der Nähe des Thalbodens ist. Als Uebelstände einer großen Höhenlage der Trasse über der Thalsohle sind zu nennen:

1. Die Entfernung von den meistens in oder nahe dem Thalboden belegenen Ortschaften, wodurch für diese der Zugang zu den Stationen erschwert wird.

2. Die Entfernung von der meistens in der Nähe der Thalsohle liegenden StraÙe, wodurch die Heranschaffung der Baustoffe erschwert wird.

3. Das meistens in höherer Lage stärkere Quergefälle des Thalhanges, wodurch die Erdarbeiten vergrößert werden.

4. Die meistens unregelmäßigere Gestaltung des Längenschnitts der Bodenlinie, wodurch häufigere Krümmungen und stärkere Erdarbeiten erforderlich werden.

5. Die größere Gefährdung des Betriebes durch Stein- stürze, Lawinen und Staubbäche.

6. Die Erschwerung der Trassirung durch Schuttkegel oder Murgänge der Wildbäche.

7. Die Erschwerung des Betriebes durch den ungünstigeren Reibungswiderstand der Schienen in Folge von Thau- und Nebelbildung und häufigen Glatteises.

Liegt die Trasse nicht im Thalboden, in genügendem Abstände von dem Fusse der Thallehne, auÙerhalb des Bereiches der Schuttkegel der Wildbäche, des Sprühregens der Staubbäche, des Niederganges der Lawinen und Stein stürze, sondern am Thalhange, so giebt es im Hochgebirge kaum ein anderes Mittel, die Gefahren der Lawinen, Stein stürze und

Staubbäche zu vermeiden, als die Bahn in die Bergwand zu legen und durch Tunnel unter den bedrohten Stellen durchzuführen. Die Schuttkegel lassen sich, wenn sie nicht zu tief unter ihrer obern Spitze geschnitten werden, in einer einzigen Oeffnung überbrücken. Werden sie aber in tieferer Lage geschnitten, so wird eine Unterfahung derselben durch einen Tunnel zweckmäßiger, welcher in der Regel in den gewachsenen Boden der Thallehne gelegt werden muß und nur ausnahmsweise*) in einem, durch die Schuttmasse gelegten Einschnitte eingewölbt werden kann.

In einzelnen Fällen können bei Einhaltung einer gleichmäßigen gebundenen Steigung und der daraus folgenden beträchtlichen Höhenlage der Trasse über der Thalsohle die Erschwerungen und Vertheuerungen für den Bau und Betrieb so groß werden, daß es vortheilhafter wird, die Durchführung der gebundenen Trasse ganz aufzugeben. Statt, wie bei Festhaltung der gebundenen Steigung geschieht, für das als zweckmäßig erkannte Steigungsverhältniß die diesem am besten sich anpassende Bodenlinie zu suchen, stellt man als leitenden Gedanken auf: vor Allem eine günstige Bodenbeschaffenheit in der Nähe der Thalsohle zu suchen, mit der Trasse den Thalboden so lange einzuhalten, als ohne Ueberschreitung der zulässig erachteten größesten Steigung und kleinsten Krümmung nur irgend möglich ist und den Ausgleich der Höhenunterschiede durch Längen-Entwicklung der Trasse erst dort vorzunehmen, wo durch die natürliche Gestaltung des Bodens die Fortsetzung der Steigungslinie unter günstigen

*) Vergl. Kowatsch, Beiträge zu Trassestudien über Eisenbahnanlagen im Bereiche von Schuttkegeln. Wien 1881. Verlag von R. von Waldheim.

Verhältnissen in der Nähe des Thalbodens nicht mehr durchführbar ist. Man hält auf solche Weise die Trasse auf einen größeren Theil ihrer Länge in solcher Nähe am Thalboden, daß weder durch die Bodengestaltung noch durch Naturereignisse für den Bau außergewöhnliche Schwierigkeiten entstehen und für den Bestand der Bahn wie für den Betrieb eine genügende Sicherheit gewonnen wird. Erst da, wo eine stärkere Ansteigung des Thalweges der Fortführung der Trasse in der Richtung des Thalzuges halt gebietet, wird zu künstlicher Längen-Entwicklung geschritten.

Diese leitenden Gedanken hat Hellwag in seinem, durch Kürze und Klarheit der Darstellung ausgezeichneten „Berichte über die Ausmittlung der Bahnachse und des Längenprofils der Gotthardbahn*) für die Trassirung der Gotthardbahn aufgestellt und zur Ausführung gebracht.

Es ist klar, daß man bei einer solchen Trassirung mit gebrochener Steigung, bei welcher man in möglichster Nähe des Thalbodens der allgemeinen Richtung des Thalweges mit wechselnder, der Bodengestaltung angepaßten Steigung in allen Strecken folgt, in welcher das Steigungsverhältniß des Thalweges die maßgebende Steigung nicht überschreitet, auf der in solcher Weise festgelegten Strecke der Trasse die Gelegenheit versäumt, das Maß an Steigungshöhe zu gewinnen, welches bei gebundener Durchführung der maßgebenden Steigung auf diese Länge erreichbar gewesen wäre. Da das so Versäumte in der mit der maßgebenden Steigung vorgenommenen Längen-Entwicklung nachgeholt werden muß, so entsteht im Vergleich zur Trassirung mit gebundener Steigung eine Verlängerung der Bahn.

Die aus der Verlängerung der Bahn entstehende

*) Zürich, Verlag von Zürcher und Furter. 1876.

Vergrößerung der Betriebskosten muß durch die Ersparung an Baukosten gedeckt werden, wenn die Abweichung von der gebundenen Steigung gerechtfertigt sein soll.

Als Beispiel möge die südliche Zugangsrampe des Gott-hard-Tunnels in Betrachtung gezogen werden.

Das Tessinthal hat von der Station Biasca, welche 296 m über Meer liegt, bis zum Eingange des Scheiteltunnels bei Airolo in 1145 m Meereshöhe eine Länge von 36 Kilometern, so daß unter Berücksichtigung der horizontalen Strecken in den Stationen und der Ermäßigung der Steigung in den Kurven und in längeren Tunneln eine maßgebende gebundene Steigung von 0,0026 bis 0,0027 sich ohne künstliche Verlängerung des Thalzuges würde durchführen lassen. Diese gebundene Steigung würde aber in und oberhalb der Dazio-Schlucht auf längere Erstreckung unter das Flußbett des Tessin in sehr zerklüftetes Gestein gekommen sein, so daß der obere Ausgang der Dazio-Schlucht mit 940 m Meereshöhe als ein technischer Festpunkt für die Höhenlage der Trasse angenommen werden muß. Von hier aufwärts folgt die Trasse dem Thalwege und steigt ohne künstliche Verlängerung, anfangs sehr schwach, später mit 0,0026 bis zum Eingange des Scheiteltunnels. In der unteren Strecke folgt die Trasse von Biasca ab auf etwa 12 Kilometer Länge mit wechselnder Steigung und mit einer größten Steigung von 0,0027 dem Thalwege, ersteigt dann durch Längen-Entwicklung in zwei Wendelsteigen das obere Ende der oberhalb Giornico belegenen Stromschnellen des Tessin, folgt darauf wieder in der Nähe der Thalsole dem Laufe des Thales auf etwa 7 Kilometer Länge und ersteigt endlich wieder in zwei Wendelsteigen den oberen Endpunkt der Dazio-Schlucht. In der ganzen südlichen Zugangsrampe finden künstliche Längenentwicklungen

nur an den beiden Thalstufen bei Dazio und oberhalb Gornico statt, durch welche eine Steigungshöhe von zusammen 0,27 Kilometer genommen wird, während die Trasse auf 34 Kilometer Länge der Richtung des Thalweges folgt. Da in der Längen-Entwicklung Kurven von zusammen etwa 1500° Centriwinkel und Tunnel von etwa 6 Kilometer Länge vorkommen, in welcher die Steigung um 0,003 ermäßigt werden soll, so ist für die durch Längen-Entwicklung zu ersteigende Höhe in Rechnung zu bringen: $h = 0,27 + 0,000018 \cdot 1500 + 6 \cdot 0,003 = 0,315$. Das Verhältniß der ohne Längen-Entwicklung zu durchfahrenden Länge $l = 34$, deren gleichwerthige Steigung zu 0,018 sich ergibt, zu dieser Höhe ist daher $\frac{34}{0,315} = 108$.

Berücksichtigt man, daß die kilometrischen Anlagekosten für die Längen-Entwicklung etwa 1 000 000 Mk. betragen und setzt diesen Werth mit 100 Mill. Pf. für A in Gleichung 31 ein, ferner $m = 108$ und $s_{11} = 0,018$, behält im Uebrigen aber die in § 35, S. 233 für die nördliche Zugangsrampe des Gotthardtunnels festgestellten Zahlenwerthe bei, so giebt Gleichung 31 als vortheilhaftestes Steigungsverhältniß für die Längenentwicklung $s = 0,030$. In Kurven von 300 m Halbmesser mußte diese Steigung um 0,0033 und, falls diese Kurven in Tunneln liegen, ferner um 0,003 ermäßigt, also auf 0,0237 festgestellt werden. In den Tunneln der Wendelsteigen ist ein Steigungsverhältniß von 0,023 vorhanden, also fast genau die günstigste Anordnung getroffen.

Die Betriebskosten für eine Tonne Rohlast berechnen sich für die ausgeführte Trasse zwischen Biasca und Airolo, deren Länge 45 Kilometer, deren gleichwerthige Steigung $s_{11} = 0,02$ und deren maßgebende Steigung $s = 0,03$ ist (0,027 Steigung mit 300 m Krümmungshalbmesser) zu:

$$K = 45 \left\{ 0,15 + 2 \cdot 0,03 + \frac{32 (0,0036 + 0,03)}{60 (0,1 - 0,0036 - 0,03)} + \frac{1}{2} \cdot \frac{25 \cdot 0,1 \cdot 60 (0,0036 + 0,02)}{60 (0,1 - 0,0036 - 0,03)} \right\} = 41,6 \text{ Pfg.}$$

Hätte man statt der gebrochenen, der Thalsohle möglichst angeschmiegt Steigung von der Dazio-Schlucht nach abwärts in der Thallehne eine gebundene Steigung durchgeführt, so hätte man bei Einhaltung der maßgebenden Steigung von 0,03 mit der Länge des Thalzuges auskommen können und die Länge der Trafse auf 38 Kilometer, also im Vergleich mit der ausgeführten Linie um 7 Kilometer abkürzen können. Die Betriebskosten hätten dann für eine Tonne Rohlast um 35,1 Pfg. betragen, also um 6,5 Pfg. weniger. Bei der in Rechnung gestellten Normalverkehrsmenge von $2\frac{1}{3} \cdot 800\,000$ Tonnen Rohlast ergibt dies eine jährliche Ersparung an Betriebskosten von rund 120 000 Mk. Läßt man die Bahn-Unterhaltungskosten außer Betracht, indem man annimmt, daß die kürzere Linie wegen ihrer höheren Lage am Thal- hange die gleichen Bahnunterhaltungskosten wie die um 7 Km längere, zur Ausführung gekommene Linie erfordert haben würde, so konnten die Baukosten der 38 Km langen Trafse mit gebundener Steigung doch noch um $\frac{120\,000}{0,04} = 3\,000\,000$ Mk. theurer sein als die der ausgeführten 45 Km langen Bahn- linie mit gebrochener Steigung.

Wenn nun in dem vorliegenden Falle, in welchem nach Hellwag's Angaben die Durchführung der Linie mit gebundener Steigung bis zur Unausführbarkeit sich steigernde Schwierig- keiten bot, die Trafsirung mit gebrochener Steigung gerecht- fertigt war, so wird doch nur in seltenen Fällen eine Ab- weichung von der gebundenen Steigung vortheilhaft sein.

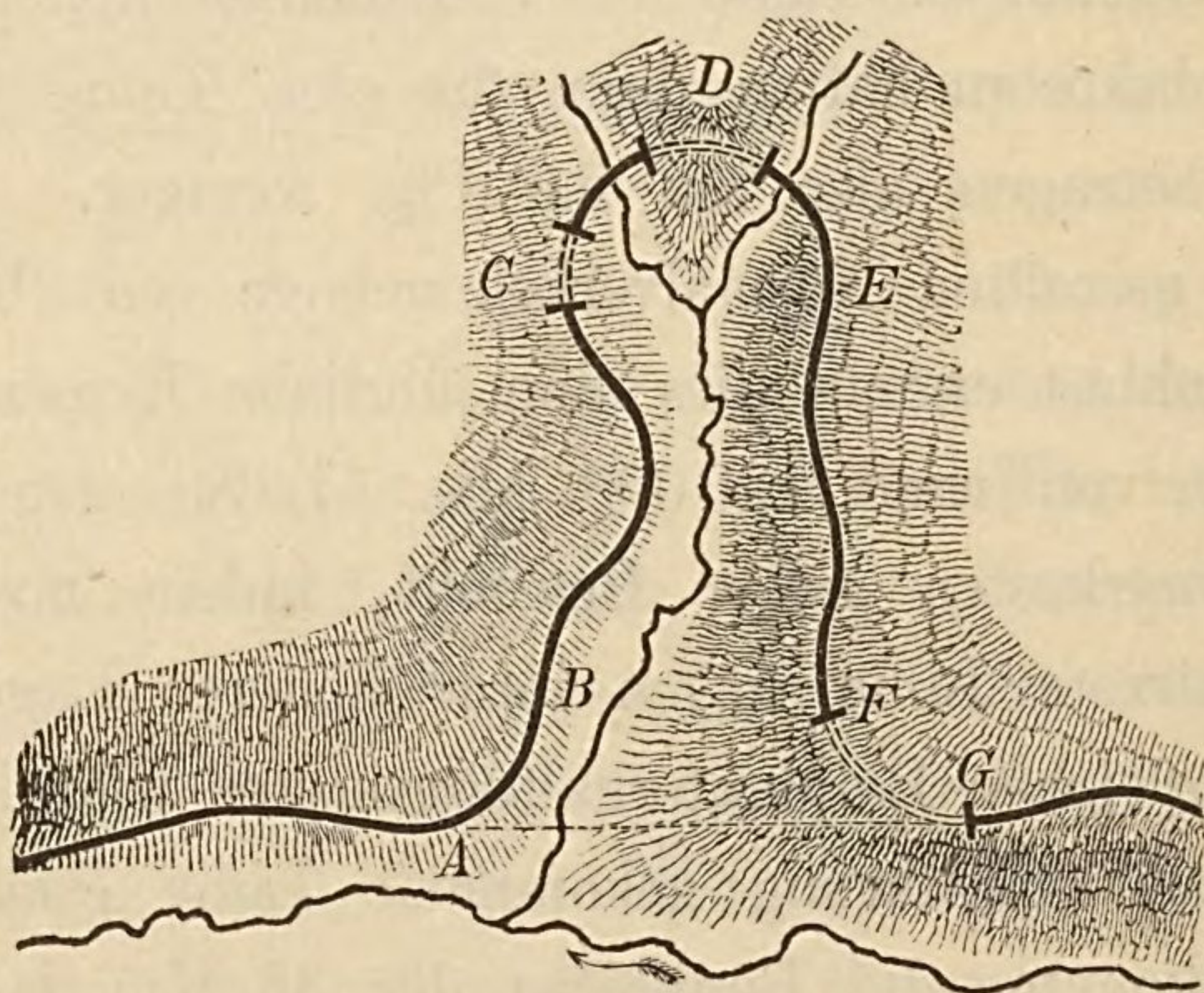
§ 37.

Die Längen-Entwicklung der Trasse.

Die zur Erreichung eines flachen Steigungsverhältnisses vorzunehmende Längen-Entwicklung der Trasse kann je nach der Bodengestaltung und Bodenbeschaffenheit auf verschiedene Weise bewirkt werden, und zwar durch Ausfahren von Seitenthälern, durch Schleifenbildung, durch Wendelsteigen und durch Spitzkehren.

1. Beim Ausfahren eines Seitenthals (Fig. 19)

Fig. 19.



verläßt die Trasse bei *A* das Hauptthal und steigt in der Linie *ABCD* in einem Seitenthale aufwärts, kehrt von *D* in der Linie *DEFG* im Seitenthale zurück und steigt dann von *G* aus im Hauptthale weiter aufwärts. An Entwicklungslänge ist der Längen-Unterschied des Bogens *ABCDEF* und der Sehne *AG* gewonnen. Die Einkehre in das Seitenthal bei *B*, die Umkehre im Seitenthale bei *D* und die Rückkehre in das Hauptthal bei *F* können meistens nur mit dem kleinsten zulässigen Krümmungshalbmesser unter entsprechender Ermäßigung des Steigungsverhältnisses bewirkt werden. Eine weitere Einschränkung des erreichbaren Gewinns an Steigungs-

höhe tritt ein, wenn die Einkehre, Umkehre oder Rückkehre längere Tunnelanlagen erfordert, in welchen das Steigungsverhältniß verringert werden muß. Wenn daher die Schenkel der Seitenthal-Ausfahrung BC und EF keine große Länge haben, so ist der erreichbare Gewinn an Steigungshöhe nicht sehr erheblich. Um mit dem einkehrenden Schenkel nicht nach zu kurzem Abstände in den Thalweg des meistens nach oben hin rasch steiler werdenden Seitenthals einzuschneiden, muß man im Beginn der Ausfahrung bei A noch eine beträchtliche Höhe über dem Thalboden haben.

Große Baukosten erfordert meistens, besonders in engen Thälern, die Umkehre, bei welcher ein genügendes Auseinanderrücken der Schenkelen oft nur durch tiefe Einschnitte oder durch Tunnel in den Thallehnen gewonnen werden kann. Zweckmäßig benutzt man oft, wie in Fig. 19 angegeben, eine Spaltung des Thals zur Umkehr.

Von den Schenkeln der Seitenthal-Ausfahrung liegt meistens der einkehrende Schenkel an dem unteren, der rückkehrende Schenkel an dem oberem Hange des Seitenthals. Es wird dabei die Uebersetzung des Seitenthals in hoher Lage in der Nähe seiner Ausmündung in das Hauptthal vermieden. Dieser Umstand kann bei bequem gestalteten Seitenthälern in einzelnen Fällen die Einkehr in dieselben aus Gründen der Kostenersparung empfehlenswerth machen, selbst wenn eine Längen-Entwicklung der Trasse nicht erforderlich oder gar eine Längen-Vermehrung unerwünscht ist.

In Ausnahmefällen liegen beide Schenkel der Seitenthal-Ausfahrung an dem oberen Hange des Seitenthals, so daß die Trasse das Seitenthal zunächst an seinem unteren Ende übersetzt, ehe sie in dasselbe einkehrt. Da diese Thalübersetzung aber stets in hoher Lage erfolgen muß, also kostspielig ist, so kann eine solche Anordnung nur dann in Frage

kommen, wenn die untere Lehne des Seitenthals für die Durchführung des einkehrenden Schenkels sehr erhebliche Schwierigkeiten bietet.

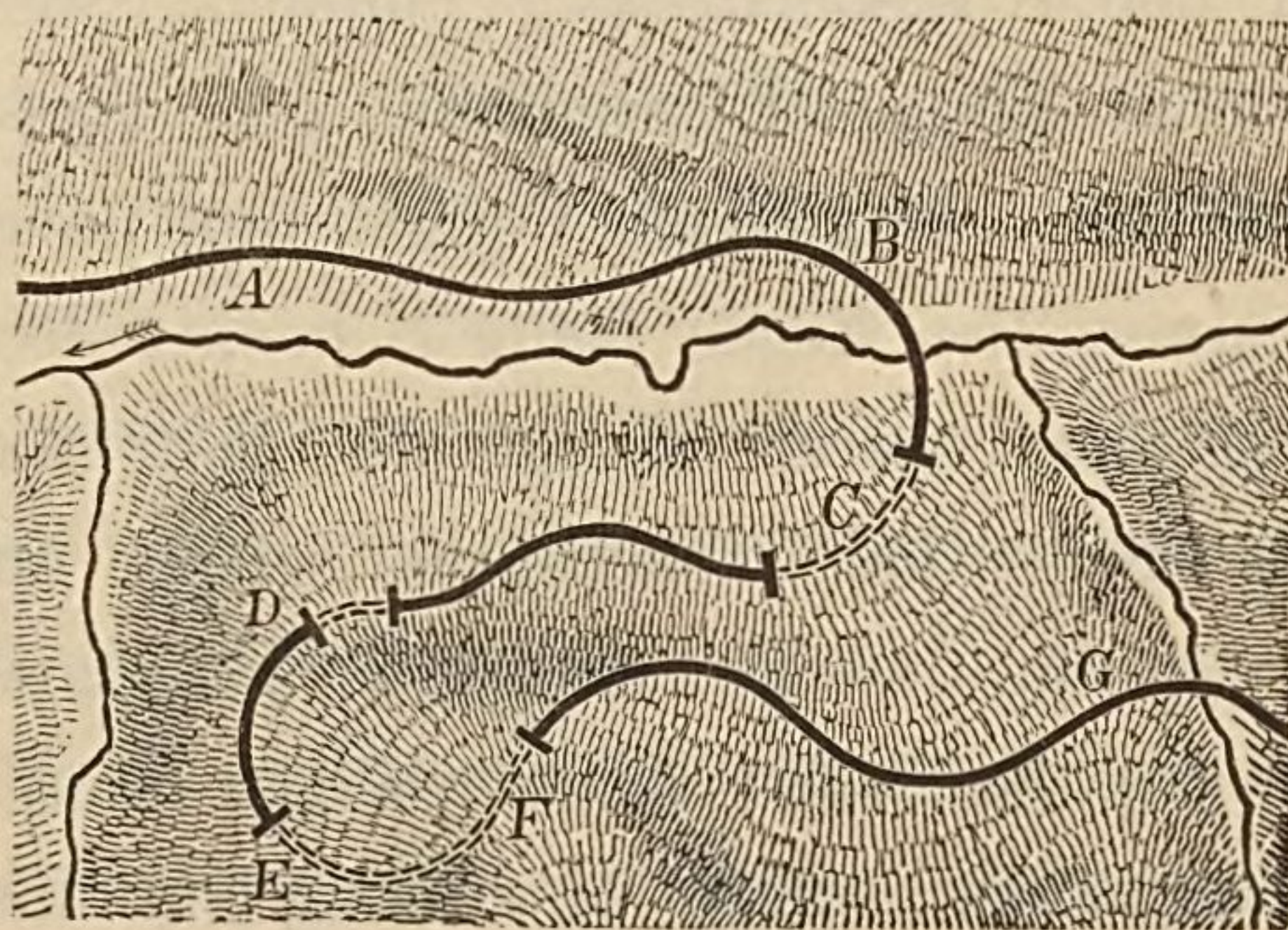
Nicht selten wird bei der Entwicklung im Seitenthale, besonders bei dem tiefer gelegenen einkehrenden Schenkel, ein Uferwechsel vorkommen.

Bei engen, nahezu parallel laufenden Seitenthälern kann der Fall eintreten, daß der einkehrende Schenkel in dem unteren Thale und der rückkehrende Schenkel in dem oberen parallelen Seitenthale liegt, indem die Umkehre den, beide Parallelthäler trennenden Bergrücken durchbricht.

Schöne Beispiele für die Ausführung von Seitenthälern zeigen die Trassen der Semmering- und der Brennerbahn.

2. Bei der Schleifenbildung folgt die Trasse dem Hauptthale bis sie in den nach oben hin allmählich steiler werdenden Thalweg beinahe einschneidet und wendet sich dann in einer Umkehre um 180° , indem sie rückwärts, in der Richtung des Thalgefälles ansteigend vom Thalboden sich wieder entfernt, endlich in der Rückkehre wieder eine Wendung von 180° , im entgegengesetzten Sinne wie bei der Umkehr, macht und in der ursprünglichen ansteigenden Richtung des Thales weiter steigt.

Fig. 20.



Innerhalb der Längenerstreckung der Schleife liegen im Querschnitt des Thales drei Strecken der Trafse übereinander, die untere Strecke AB , der umkehrende Schenkel CDE und der rückkehrende Schenkel EFG der Schleife. Der Gewinn an Länge ist ausgiebiger als bei der Ausföhrung eines Seitenthales, da die ganze Länge der Schleife $BCDEFG$ die Längenvermehrung bildet. Die scharfen Krümmungen und die meistens erforderlichen Tunnel der Umkehre und Rückkehre beeinträchtigen allerdings durch die vorzunehmende Ermäßigung des Steigungsverhältnisses die Gröfse der zu gewinnenden Steigungshöhe.

Günstig im Vergleich zur Ausföhrung von Seitenthälern ist ferner der Umstand, daß bei der Schleifenbildung die Trafse im Hauptthale so weit aufwärts geführt werden kann, bis sie nahezu in den Thalweg einschneidet, während bei der Ausföhrung von Seitenthälern die Entwicklung schon beginnen muß, wenn die Trafse noch in gröfserer Höhenlage über dem Thalwege sich befindet.

Zweckmäfsig werden, wenn die Bodengestaltung hierzu Gelegenheit bietet, sowohl für die Umkehre wie für die Rückkehre die Einmündungen von Seitenthälern benutzt, wie in Fig. 20 dargestellt ist. Man gewinnt dadurch die Möglichkeit an den Hängen der Seitenthäler die Umkehre wie die Rückkehre mindestens theilweise in offener Lage durchzuführen.

Am Anfange der Schleife erfolgt in der Regel eine Ueberschreitung des Thales in einer für die Brückenanlage noch eben ausreichenden Höhenlage.

Nur ausnahmsweise wird eine Ueberschreitung des Thales beim Beginn der Schleife vermieden und die Umkehre statt nach dem Thalwege hin nach der Hangseite zu rückwärts geführt werden können, so daß die drei in der Schleife über-

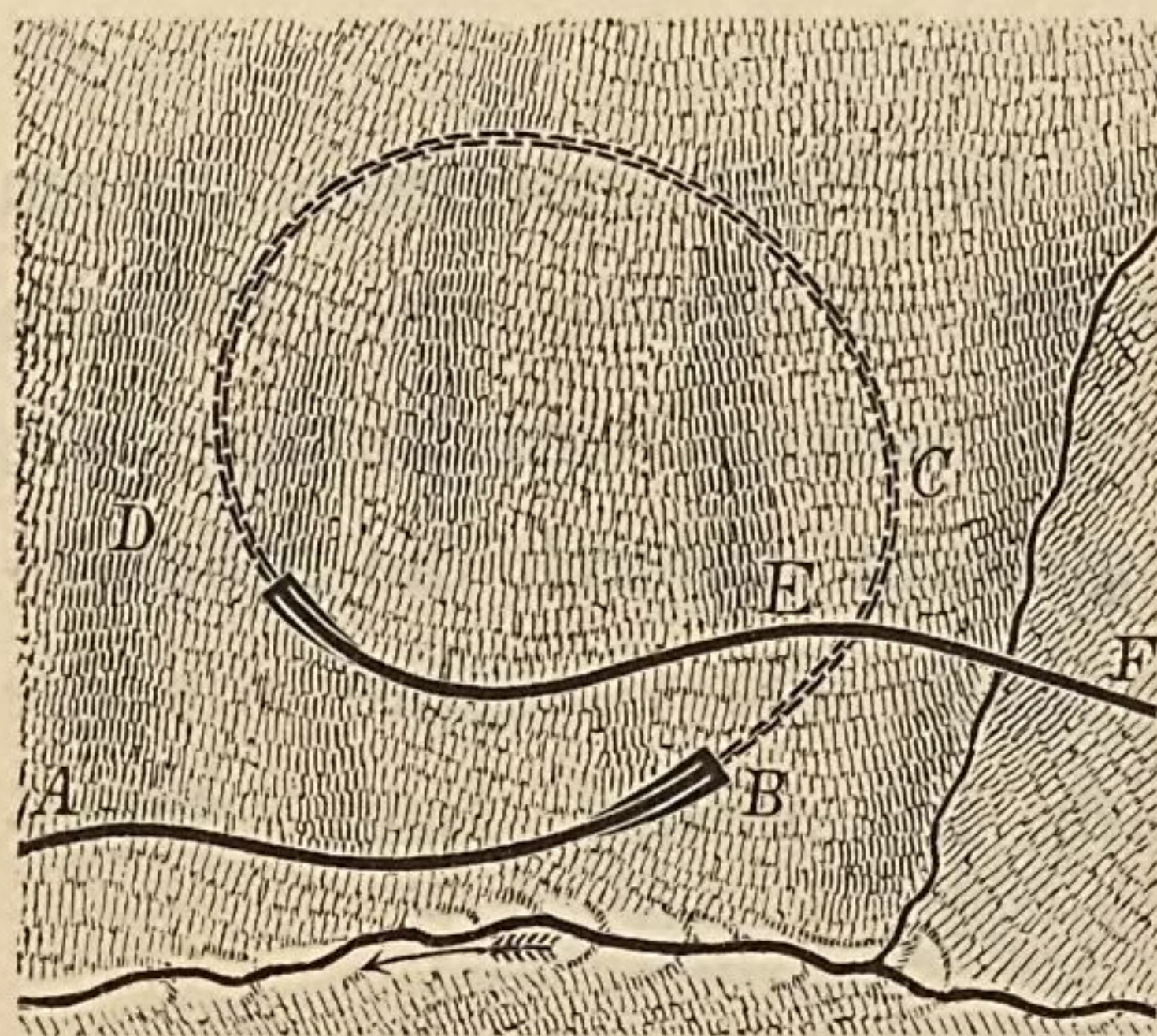
einander liegenden Strecken der Trasse an ein und demselben Flußufer sich befinden.

Wird die Schleifenbildung in einem Längenabschnitte des Thales mehrere Male übereinander wiederholt, was bei Straßen häufig dagegen bei Eisenbahnen nur ausnahmsweise vorkommt, so bezeichnet man die Trasse als Serpentinbildung und nennt jede der um etwa 180° gewendeten Krümmungen eine Serpentine.

Schöne Beispiele von Schleifenbildungen zeigt die Schwarzwaldbahn.

3. Die Wendelsteige bildet eine Schleife, bei welcher die Krümmung der Rückkehre in demselben Sinne wie die der Umkehre erfolgt, so daß eine volle Umdrehung im gleichen Drehungssinne vollzogen wird. Am Ende der Wendelsteige muß dann der rückkehrende Schenkel DE (Fig. 21) über den

Fig. 21.



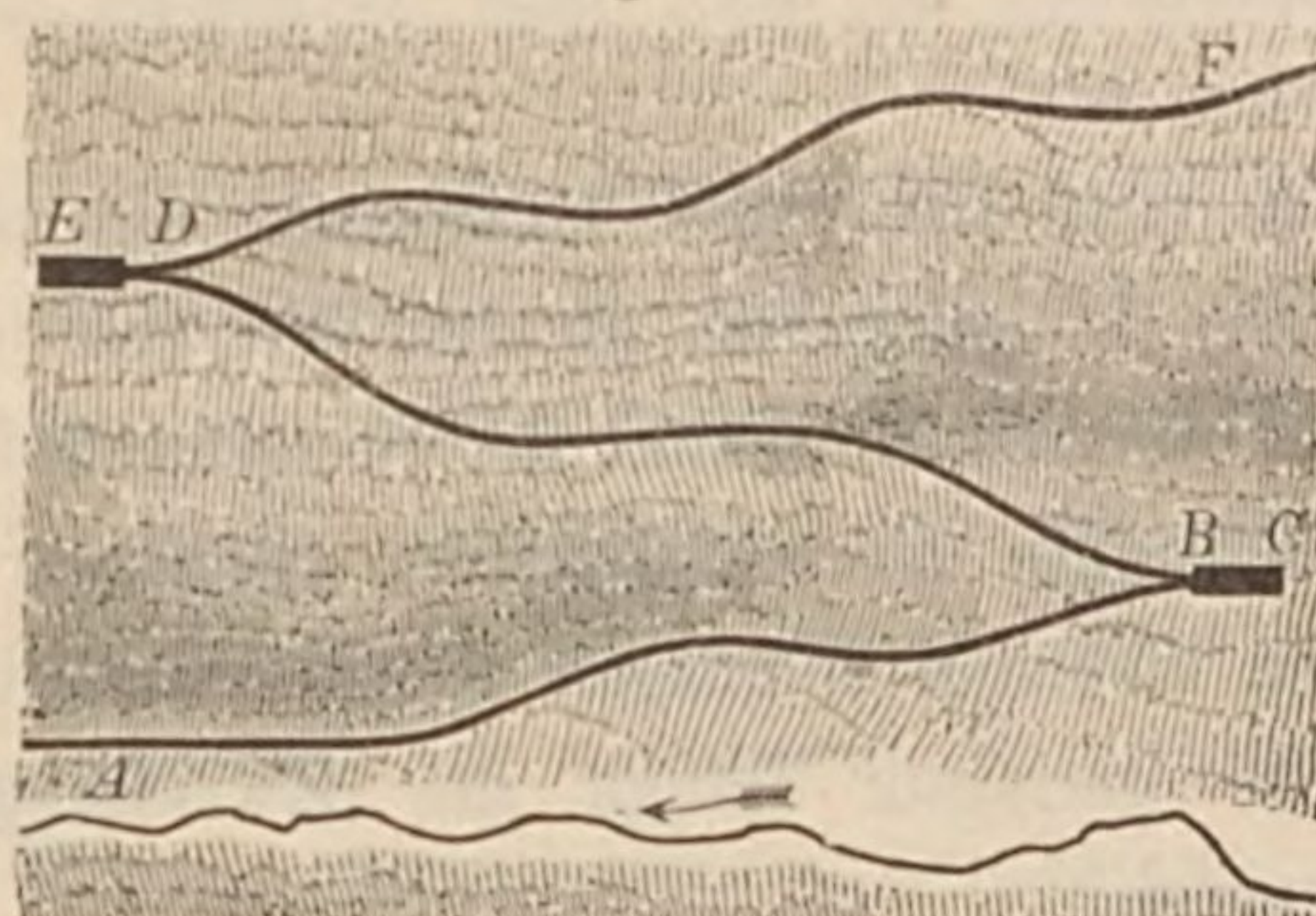
umkehrenden Schenkel AB hinweggeführt werden. An der Ueberschreitungsstelle der Trasse E ist für die Höhe die ganze Entwicklungslänge der Wendelsteige gewonnen. Zweckmässig benutzt man für den umkehrenden wie für den rückkehrenden Schenkel der Wendelsteige die Einmündung von Seitenthälern, an deren Hängen man die Trasse in

offener Lage führen und unter Umständen den Tunnel auf die Durchbrechung des, beide Thäler trennenden Bergrückens einschränken kann. Unter solchen Umständen kann man die Wendelsteige als einen besonderen Fall der Ausföhrung paralleler Seitenthäler ansehen, bei welchem der einkehrende Schenkel im oberen und der rückkehrende Schenkel im unteren

Seitenthale liegt. Die Wendelsteige kann aber auch unabhängig von Seitenthälern durchgeführt werden, indem man mittelst des Umkehrtunnels in die Berglehne eindringt und unter Fortsetzung der Drehung wieder in die Richtung des Hauptthals bis zum Ausgange in offene Lage am Thalhange weiter geht. In engen Thälern ohne benutzbare Seitenthäler und mit schroffen Lehnen ist die Längenentwicklung durch Wendelsteigen zuweilen das einzige, wenn auch kostspielige Auskunftsmittel. Sie wurden bis jetzt nur bei der Gotthardbahn angewendet, deren Trasse dadurch zu einer so eigenartigen und höchst interessanten geworden ist.

4. Bei der Längenentwicklung durch Spitzkehren wird die Fahrrichtung der Züge durch Einlaufen in eine Kopfstation geändert. Die Spitzkehren (Fig. 22) sind in den

Fig. 22.



Anlagekosten in der Regel billiger als jede andere Art der Längenentwicklung, wegen der Unbequemlichkeit und wegen des Zeitverlustes, welchen die Aenderung der Fahrrichtung beim Betriebe verursacht, aber nur in Nothfällen zur Anwendung gekommen. Ein Beispiel bildet die Spitzkehre bei Elm in der Ersteigung der Wasserscheide zwischen Main und Fulda in der Eisenbahn Frankfurt-Bebra; bemerkenswerther sind aber die Spitzkehren der Lima-Oroya-Bahn.

Durch die beiden Spitzkehren bei B und D (Fig. 22)

wird die Entwicklungslänge BDF in der Richtung des Thales gewonnen, welche ohne schärfere Krümmungen und meistens auch ohne lange Tunnel erreicht wird, so daß sie zur Vermehrung der Steigungshöhe ohne Einschränkung zur Ausnutzung gelangt. Dieser Vorthail wird durch die der eigentlichen Länge der Trafse hinzukommenden Kopfstationen BC und ED erkauft, welche, wenn sie nicht auch für den Verkehr erforderlich waren, die Ausgaben für den Bau und für den Betrieb erhöhen.

§ 38.

Die Aufsuchung der Trafse im Schichtenplane.

An die Aufsuchung der Trafse kann erst gegangen werden, nachdem über die folgenden Punkte, wenn auch nicht eine unabänderliche, so doch eine vorläufige Entscheidung getroffen worden ist:

- 1) über die Grundriß- und Höhenlage des oberen Endpunkts der Steigungslinie an der Wasserscheide;
- 2) über den unteren Endpunkt der Steigungslinie im Thale;
- 3) über die Gröfse der maßgebenden Steigung;
- 4) über den kleinsten zulässigen Krümmungshalbmesser;
- 5) über die geringste Länge der Zwischengeraden bei Gegenkurven;
- 6) über die Verringerung der maßgebenden Steigung in Kurven, deren Länge ein gegebenes Maß überschreitet und deren Krümmungshalbmesser unter einer bestimmten Gröfse bleibt;
- 7) über die Verringerung der maßgebenden Steigung in Tunneln, deren Länge ein bestimmtes Maß überschreitet;
- 8) über die Lage, die Länge und die größte zulässige Steigung der Zwischenstationen.

Mit der Aufsuchung der Trafse beginnt man in der

Regel am zweckmässigsten am oberen Endpunkte der Trafse, weil dessen Lage meistens schärfer bestimmt ist als der untere Fußpunkt der Steigungslinie.

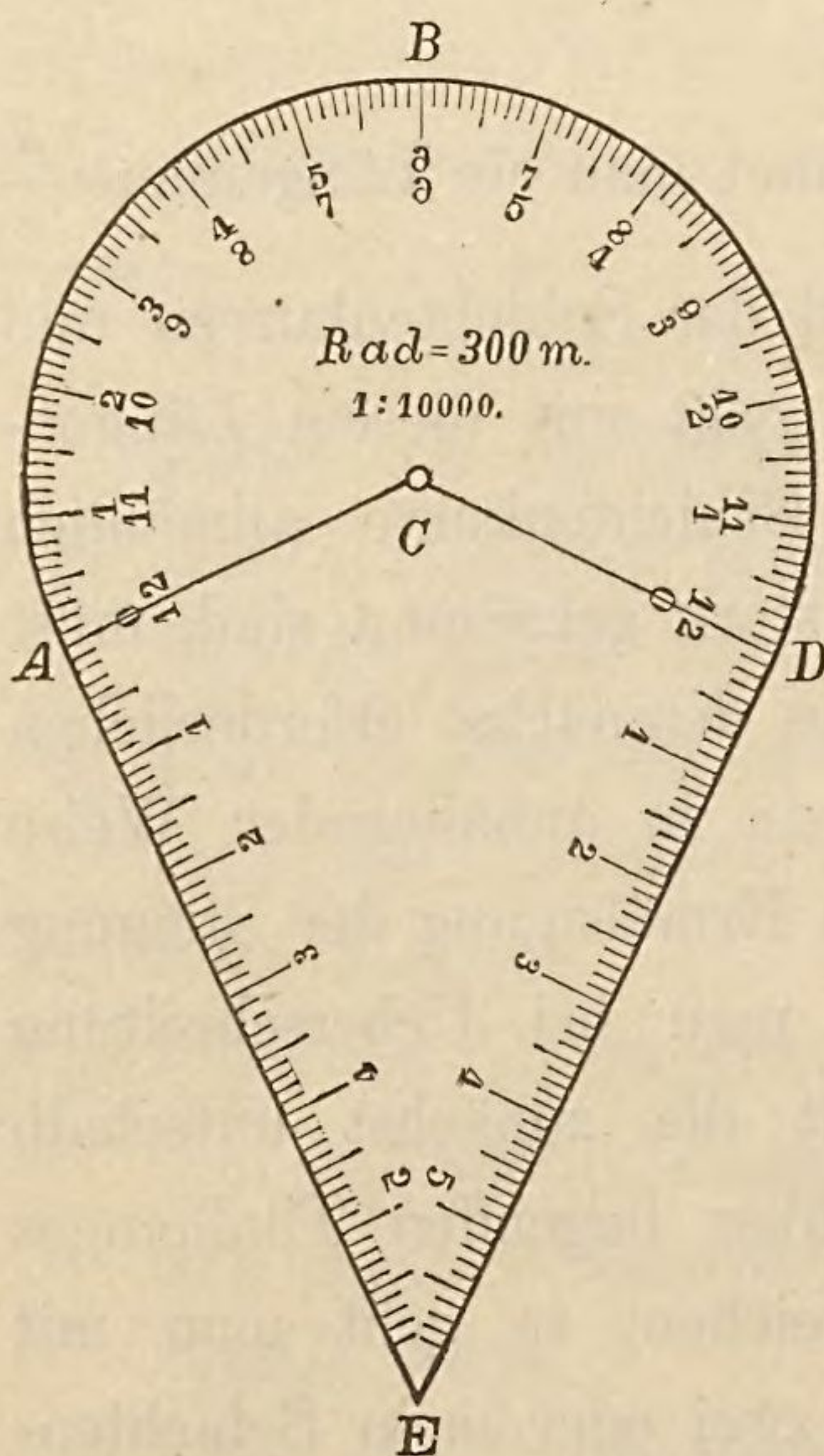
Reicht die Länge des Thalzuges zur Gewinnung der Höhe mit dem angenommenen Steigungsverhältniß nicht aus, so untersucht man, an welchen Stellen und nach welcher Art der Entwicklung die erforderliche Mehrlänge zu gewinnen ist. Sodann ist nach den in § 33 angeführten Erwägungen die Wahl des Flusufers zu bestimmen, an welchem die Trafse abwärts geführt werden soll. Je nach der Wahl des Ufers, der Uebergangsstellen von einem Ufer auf das andere, der Stellen und der Art der Längenentwicklung kann oft eine größere Anzahl verschiedener Steigungslinien zur Vergleichung kommen.

Zur Aufsuchung der Trafse nimmt man ein Längenmaß $\frac{h}{s}$ in den Zirkel, wenn h der Abstand der Schichtenkurven und s das Steigungsverhältniß ist und geht mit diesem Längenabstande von Schichtenkurve zu Schichtenkurve allmählich abwärts. Wo die Schichtenkurven stark gekrümmt sind, mißt man in solcher Weise die Sehne des demnächst erforderlichen Kreisbogens, wodurch von vornherein in annähernder Weise der in den Kurven vorzunehmenden Ermäßigung der Steigung Rechnung getragen wird. Kann man bei Ueberschreitung eines Thales oder einer Schlucht die zunächst unterhalb liegende Schichtenkurve des gegenüber liegenden Thalhangs mit einem Zirkelschlage nicht erreichen, so geht man mit zwei oder mehr Zirkelschlägen um zwei oder mehr Schichtenkurven abwärts.

Die nach diesem Verfahren ermittelte vorläufige Trafse bildet einen geradlinig geknickten Linienzug, dessen Brechpunkte in den Schichtenkurven liegen. Diesem sucht man

nun einen, aus Kreisbogen und tangirenden geraden Linien gebildeten Linienzug möglichst anzupassen, wobei man vom oberen Endpunkte beginnend zunächst eine Länge von ein bis zwei Kilometern in Arbeit nimmt. Die Kreislinien zieht man hierbei am besten, indem man eine nach Fig. 23 in dünner Pappe oder besser in durchsichtigem Horn ausgeschnittene Lehre mit dem Bleistift umfährt. Man fertigt solche Lehren nach den am häufigsten zur Anwendung kommenden Krümmungshalbmessern, beispielsweise nach 300, 400 und 500 m, an; auf den Tangenten ist nach dem Maßstabe, in welchem der Schichtenplan aufgetragen ist, ein Längenmaßstab angegeben, ebenso sind vom Kreisbogen-Anfangspunkte mit Null

Fig. 23.



beginnend die Längenmaße an dem Kreisbogen angegeben. Auf der Rückseite der Lehre befindet sich für Kurven, welche in der entgegengesetzten Richtung drehen, die gleiche Längen-Eintheilung. Im Kreismittelpunkte der Lehre ist ein kleines Loch, so daß man den Mittelpunkt des Kreises auf dem Schichtenplane anmerken kann.

Man versucht, welche dieser Kreislehren von verschiedenem Halbmesser sich der ursprünglichen geknickten Steigungslinie durch Hin- und Herschiebung am besten anpassen läßt und umfährt

die Lehre dann in der erforderlichen Länge der Kurve mit einem Bleistift. Ist in solcher Weise der Kreisbogen von *A* bis *B* gezeichnet, so dreht man die Lehre, so daß der Endpunkt *D* des Kreisbogens der Lehre nach *B* rückt

und zieht dann, der Linie DE mit dem Bleistift folgend, die Tangente an das Kreisbogenende.

Ist die aus Kreisbogen und Geraden gebildete Trafse auf dem Schichtenplane aufgezeichnet, so nimmt man eine Theilung derselben nach Höhen-Abstufungen von je ein oder zwei Metern vor. Läge der obere Endpunkt der mit einer maßgebenden Steigung von 0,0125 zu trafsirenden Linie beispielsweise auf der Höhe 500 m, so würde man, dem Maßstabe des Schichtenplanes entsprechend, eine Länge von 80 m in den Zirkel nehmen und abwärts gehend die Höhen 499, 498 u. s. w. in der Trafse bezeichnen. Kommt man bei dieser Theilung an dem Anfangspunkt einer Kurve von 300 m Halbmesser, in welcher eine Ermäßigung der Steigung auf $0,0125 - 0,0033 = 0,0092$ eintreten muß, so ist ein Längenmaß $\frac{1}{0,0092} = 108,7$ m in den Zirkel zu nehmen und mit diesem in der Kurve die Theilung fortzusetzen. Träfe man mit dem Gefällwechsel auf die Höhenlage 496,4, so müßte man von der Höhenzahl 495 bis zur Höhenzahl 494 die Länge $0,6 \cdot 80 + 0,4 \cdot 108,7 = 91,5$ m abstecken.

Nach Durchführung der Höhenbezeichnung der Trafse in Abstufungen von einem Meter, bestimmt man an jedem Theilpunkte, rechtwinklig gegen die Trafse gehend, den Punkt des Bodens von gleicher Höhenlage. Die Linie, welche die so erhaltenen Punkte des Bodens, von oben nach unten fortlaufend, verbindet, heißt die Null-Linie; sie liegt in den Dammstrecken der Trafse von dieser bergwärts, in den Einschnittsstrecken thalwärts.

Hebt man die zwischen der Trafse und der Nulllinie eingeschlossene Fläche durch leichte Strichelung mit weichem Blei hervor, so lernt man nach einiger Uebung bald beurtheilen, ob eine annähernde Ausgleichung der Auftrags- und

Abtragsmassen stattfindet und ob man durch Verschiebung der Trafse diese Ausgleichung besser erreicht.

Da, wo die Trafse tiefe Thäler übersetzt oder im Tunnel liegt, hat die Einzeichnung der Nulllinie keinen Zweck.

Nach der, durch die Rücksicht auf die Lage der Nulllinie bewirkten Verschiebung der Trafse wird dann eine Längentheilung derselben nach Stationen in 100 m Abstand vorgenommen, wobei eine kleine Verschiebung der Gefällwechsel, durch welche deren Abstand mindestens nach 10 Meter abgerundet wird, sich empfiehlt.

Es ist nun leicht, nach den an der Trafse eingeschriebenen Längen- und Höhenzahlen und nach den Höhen-Kurven des Schichtenplans einen Längenschnitt der Bahn aufzutragen, wozu man zweckmäfsig ein in Quadrat-Millimeter getheiltes Papier benutzt. Die darauf folgende überschlägliche Berechnung der Auf- und Abtragsmassen wird häufig noch Veranlassung werden, die Trafse in einzelnen Strecken zu besserer Ausgleichung der Auf- und Abträge mehr thalwärts oder bergwärts zu rücken; womit die allgemeinen Vorarbeiten zur Feststellung der Trafse schliessen. Bei den ausführlichen Vorarbeiten werden zu genauerer Ermittlung der günstigsten Grundriß- und Höhenlage vor Allen die in genügend nahem Abstände, zuweilen in einer mittleren Entfernung von wenig über 10 m, aufzunehmenden Bodenquerschnitte benutzt.

In manchen Fällen empfiehlt es sich, um eine unnütze Ausdehnung des Schichtenplans zu vermeiden, die erste geradlinig gebrochene Neigungslinie mit dem Neigungsmesser im Gelände zu suchen, dieser Zickzacklinie einen auf längere Strecken geradlinigen Polygonzug anzupassen und von diesem aus der Aufnahme des Schichtenplans auf die nächste Umgebung zu beschränken. Die übrigen nach einander folgenden Arbeiten der allgemeinen Trafsirung, also die Bildung der

Trafse aus Kreisbögen und geraden Linien, die Höhentheilung derselben, die Bestimmung der Nulllinie, die genauere Anschmiegung der Trafse an die Nulllinie, die Längeneintheilung der Trafse, die Auftragung des Längenschnitts können erst unter Benutzung eines vorliegenden Schichtenplans in zweckmäßiger Weise durchgeführt werden, so daß die von einigen Seiten empfohlene Verwendung des Neigungsmessers immerhin die Aufnahme eines Schichtenplans nicht entbehrlich macht, sondern nur eine unnütze Flächen-Ausdehnung desselben verhindern kann. Kommen aber, wie es bei verwickelter Bodengestaltung meistens der Fall ist, mehrere Versuchslinien zur Wahl, so ist eine große Ausdehnung des Schichtenplans doch unvermeidlich und die Benutzung des Neigungsmessers ohne besonderen Vortheil.

Diese Erwägungen, ja eigentlich schon die ganze hier besprochene Aufsuchung der Trafse im Schichtenplane, greifen schon in das Gebiet der praktischen Trafsirung über.

Bei Schmorl & von Seefeld in Hannover erschien ferner:

Die Steigungsverhältnisse der Strassen.

Von

Launhardt,

Geh. Reg.-Rath und Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover.

Preis 1 Mark.

Das Massen-Nivellement.

Mit einer Tabelle und einem Blatt Zeichnungen.

Von

Launhardt,

Geh. Reg.-Rath und Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover.

Zweite Auflage. Preis 2 Mark.

Formeln, Tabellen und Skizzen

für das

Entwerfen einfacher Maschinentheile.

Von

Otto Grove,

Professor an der Technischen Hochschule zu München.

Preis kartonniert 7 Mark, geheftet 6 Mark.

Steinschnitt

der

Böschungsflügel und schiefen Brückengewölbe.

Von

R. Gerke,

Dipl. Ingenieur und Privatdocent der Techn. Hochschule zu Hannover.

Für Bau-Ingenieure.

Mit einem Atlas von 20 Tafeln. Preis 6 Mark.

Die Festlegung der Böschungsschnittkurve

mittels kotirter Projection

als

Beitrag zu der Tracirungslehre.

Von

R. Gerke,

Dipl. Ingenieur und Privatdocent, an der Technischen Hochschule zu Hannover.

Für Bau-Ingenieure und Landmesser.

Mit 8 autographirten Beilagen. Preis 2 Mark.

Theorie des Trassirens

Von

Wilhelm Launhardt,

Geh. Regierungs-Rath und Professor an der Technischen Hochschule zu Hannover.

Heft I: Die kommerzielle Trassirung.

2. Auflage. Mit 19 Holzschnitten.

Preis 3 Mark.

$$z = \frac{g \sin \varphi' + \omega g \cos \varphi'}{\cos \xi + \omega g \sin \xi} = \frac{g \sin \varphi' + \omega g \cos \varphi'}{\cos \xi + \omega g \sin \xi}$$

$$g = 0,05$$

$$\sin \varphi' = 0,05 = 5\%$$

$$\frac{150}{100}$$

$$50 \text{ m kg}$$

$$p 2000 \text{ sec}$$

$$\frac{5}{250} = \frac{2,5}{100} = \frac{5}{100}$$

$$\begin{array}{r} 5000 \\ 10000 \end{array} \quad \begin{array}{r} 5000 \\ 25 \end{array}$$

$$50 : 25$$

Launhardt, Wilhelm, 1832-1918

Theorie des Trassirens

Bd.: 2

Hannover 1888

A.hydr. 51 e-1/2

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11538637-6